



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

---

---

**"FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION"**

**TESIS PROFESIONAL**

**SALVADOR ALTAMIRANO QUINTERO**

**MEXICO, D. F.**

**1985**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FALLAS TECNICAS EN LAS CONSTRUCCIONES

# I N D I C E

- 1) CONCEPTO DE ERROR.
  - A) Definición de Falla.
  - B) Causas, Clasificación.
- 2) CIMENTACIONES DE ESTRUCTURAS.
  - A) Socavación de los apoyos.
  - B) Fallas de transmisión de cargas.
  - C) Movimientos laterales.
  - D) Apoyo desigual.
  - E) Arrastre y levantamiento.
  - F) Error de diseño.
  - G) Error de construcción.
  - H) Flotación y cambios en el agua.
  - I) Efectos de las vibraciones.
  - J) Efectos de los temblores de tierra.
- 3) CONSTRUCCIONES BAJO EL TERRENO NATURAL.
  - A) Zanjas.
  - B) Ataguías y apuntalamientos.
  - C) Pilotes y celdas de cimentación.
  - D) Tuneles y alcantarillados.
  - E) Las rocas como material de construcción.
- 4) CONSTRUCCIONES AL NIVEL DEL TERRENO NATURAL.
  - A) Taludes y deslizamientos.
  - B) Hundimientos.
  - C) Muros de contención.
- 5) DESASTRES NATURALES Y ORIGINADOS POR EL HOMBRE
  - A) Derrumbes durante la demolición.
  - B) Derrumbes por deterioro.
  - C) Derrumbes por sobrecarga.
  - D) Derrumbes por modificaciones.

- E) Daños ocasionados por incendios.
- F) Daños por explosiones y vibraciones.
- G) Daños ocasionados por el viento.
- H) Tormentas en tierra.
- I) Daños causados por los rayos.
- J) Efectos de encharcamientos por las lluvias.
- K) Falla por carga de nieve.
- L) Falla por sismos.

6) MAMPOSTERIAS.

- A) Fallas de muros.
- B) Errores de construcción.
- C) Juntas y grietas.
- D) Protección contra la intemperie.
- E) Revestimientos de mampostería.
- F) Muros divisores.
- G) Pantallas ornamentales.
- H) Yeso.

7) CONSTRUCCIONES DE MADERA, VIDRIO Y ALUMINIO.

- A) Materiales de madera.
- B) Estructuras de madera.
- C) Vidrio.
- D) Aluminio.

8) ACERO ESTRUCTURAL.

- A) Montaje y armazón.
- B) Arriostramiento lateral.
- C) Gruas y torres.
- D) Malacates y andamios.
- E) Tanques y tuberías.
- F) Soldadura.
- G) Cables y alambres.

- H) Corrosión.
- 9) CONCRETO.
  - A) Mezclas de concreto.
  - B) Reacción superficial.
  - C) Reacción interna.
  - D) Constracción, dilatación y cambio plástico.
  - E) Desintegración superficial.
  - F) Efecto del fuego.
  - G) Oxidación del acero ahogado en concreto.
- 10) ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
  - A) Diseño y detalle.
  - B) Esfuerzos cortante y de torsión.
  - C) Falla por comprensión.
  - D) Dificultades de montaje.
  - E) Congelación.
  - F) Cambios de temperatura.
  - G) Deformación y agrietamiento.
- 11) CONCRETO PRESFORZADO.
  - A) Mezcla de concreto.
  - B) Apoyos.
  - C) Montaje.
- 12) CIMBRAS Y ESTRUCTURAS TEMPORALES.
  - A) Fallas de las cimbras.
- 13) CONCLUSIONES.

## INTRODUCCION

La construcción es esencialmente una industria de servicios. La construcción de un proyecto lleva consigo miles de detalles y de interrelaciones complejas entre los propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, fabricantes, distribuidores del equipo, dependencias gubernamentales, mano de obra y otros.

Más que cualquier otro negocio, en la industria de la construcción el éxito o el fracaso está determinado por la calidad de la dirección. La administración de la construcción es fundamentalmente la dirección de las personas, la capacidad para conservar a la gente unida en un grupo compacto con respecto a su jefe y a cooperar unos con otros. Para lograr el respeto y la lealtad de las personas es necesario que el administrador sea eminentemente equitativo en sus negociaciones y en sus relaciones con los empleados. Cualquier desviación de esta línea de conducta tiene un efecto adverso y la organización se desmembra con rapidez; se debe dar oportunidad a los empleados de que acepten su responsabilidad de trabajo a toda su capacidad; asimismo darles el crédito total por el buen desempeño de sus funciones.

Todos los proyectos de construcción deberían tener un plan maestro formal por escrito. Un planteo superficial solo invita a desastres. Sin información acerca de tales factores como la productividad anual proyectada, capacidad de los equipos, tecnologías y sistemas que deberán usarse, no es posible redactar especificaciones precisas.

" Información " significa datos documentados, no suposiciones y presunciones sin respaldo. Las especificaciones basadas en información insuficiente pueden resultar en costosos rediseños de equipos.

La planificación debe ir más allá de los dibujos de ejecución e incorporar todas las actividades de apoyo. Dos componentes críticos son los cálculos estimativos y el calendario de ejecución. Los cálculos anticipados deben tomar en cuenta los materiales, el costo de mano de obra y los gastos generales.

Los planos o dibujos de ejecución son esenciales para la construcción.

Donde no existen dibujos, no existe base para presentar una oferta -- de precios firme. Los planos no solo deben de ser precisos, ellos deben ser manejados con eficiencia. Deben existir -- controles sobre su creación modificación y puesta al dia. El número de planos que se necesitará también debe ser - - cuidadosamente calculado y las relaciones entre estructu-- ras deben de ser tomadas en cuenta. Si los planos superfluos no se utilizan, la pérdida se reducirá al costo de producir los. Empero, si se utilizan, la pérdida puede ser mas seria.

Para grandes obras de construcción un método general de adquisiciones es imperativo, Los procedimientos de compra deberian idealmente definir los objetivos, asignar las respon-- sabilidades, y establecer canales de comunicación. Las especificaciones deben ser precisas y explicitas, si se redac-- tan descuidadamente, estas pueden causar errores costosos.

Los documentos de inventario no sirven para nada si la - - "seguridad" se descuida. El acceso a las instalaciones debe ser estricto. Las entradas deben de estar a cargo de personal en guardia. Todas las personas conectadas con el proyec-- deberán usar identificación para ser admitidas a la construc-- ción.

La administración de un proyecto es complicada y requiere - una atención estricta de registros, personal supervisor res-- ponsable, y planeación precisa durante el período de cons-- trucción.

En esencia la construcción, es una combinación de organiza-- ciones, ciencia de la ingenieria, conjeturas estudiadas y - riesgos calculados.



Por su misma naturaleza, las operaciones de la construcción deben de realizarse en el lugar del proyecto.

Por todo lo anterior podemos decir que la construcción es un negocio dinámico incansable y compulsivo.

## CONCEPTO DE ERROR

El concepto de error se puede definir como:

- Una opinión falsa ó errónea.
- Error de cálculo.
- Descuido, inexactitud, falta.
- Culpa, defecto, etc.

Historicamente, a la industria de la construcción corresponde vigilar que las obras no estén "mal hechas" y que cada una de las personas interesadas deben de hacer cuanto esté de su parte para eliminar toda posibilidad de construir "malas" obras.

Entre éstas personas se cuentan desde el ingeniero que concibe el proyecto hasta el sobrestante que dirige los trabajos en una fase determinada de la obra.

La construcción incluye muchos aspectos del aprendizaje profesional como son:

- Elaboración de proyectos, basados en los conocimientos del proyectista.
- La descripción de ésta información, usando el lenguaje universal de los planos y modelos.
- La preparación del conjunto de materiales y otros componentes.
- Rentabilidad de la obra terminada.

Se entiende por construcción al conjunto formado por el proyecto, el diseño estructural, la elección de los materiales, la producción y colocación de los mismos y la limpieza final del equipo y de las instalaciones.

Todo estos factores presuponen dos requisitos relacionados entre si:

a) Suficiencia y b) Necesidad:

- a) Suficiencia proporciona seguridad, no sólo contra el derrumbe ó colapso, si no tambien contra el deterioro indebido.
- b) Necesidad es una medida económica muy importante en ésta industria pero que solo debe de considerarse despues de satisfacer la condición de suficiencia.

En muchas ocasiones las continuas presiones de tipo personal que se utilizan para lograr mayores economías han dado como resultado una reducción absurda de seguridad, inferior a los límites de seguridad mínima.

Estas continuas presiones de tipo personal pueden derivarse tanto de la competencia financiera privada como de la demanda pública, en el sentido de que se debe respetar el presupuesto, el proyecto y la construcción, aun cuando el proyecto no reúna todas las condiciones de seguridad. A menudo la falla de una porción y hasta el colapso de una estructura completa ocurre durante la etapa constructiva, cuando aun no tiene la resistencia mínima requerida.

Entre la estabilidad y la inestabilidad, y entre la falla y la suficiencia, el límite es solo una línea muy delgada. Pero cuando la falla se presenta, el desconocimiento de la existencia de estos límites no es excusa.

Por todo lo anterior podemos establecer que en la industria de la construcción, no se puede dar el "lujo", o cuando menos tratar de evitar - hasta donde sea posible toda clase de errores, por muy insignificantes que estos puedan ser.

#### A) DEFINICION DE FALLA.

Falla se puede definir como un comportamiento que no cumple con las funciones a las que estaba destinada la obra terminada.

Las fallas tambien se pueden definir como un comportamiento estructural que no cumple con las condiciones de estabilidad esperada en los proyectos, comportamiento que hace necesarias las reparaciones.

Falla es toda discrepancia entre los resultados esperados de un proyecto y los que en realidad se obtienen, (este es el enfoque más lógico y real). Trátandose o no de falla, cuando se descubre uno de esos resultados inesperados, a este, siempre siguen litigios prolongados y costosos, durante los cuales los expertos son exhaustivamente interrogados por los abogados de sus clientes y los abogados de las partes contrarias en sus intentos de llegar a establecer la "causa determinante" de

La falla o del incidente. Es muy cierto que en algunas ocasiones si - existe una sola causa o explicación de la falla, pero, por regla general, ésta tiene un origen en una combinación de circunstancias (errores, descuidos, malas interpretaciones, ignorancia, incompetencia y - aun deshonestidad), pero nunca puede atribuirse a ninguno de estos -- factores en particular la categoría de causa inmediata de la falla. Pero el evitar las fallas requiere la aplicación de cierta habilidad y el control constante de la ejecución de la obra para impedir la omisión de algunos factores necesarios.

Cuando la construcción prospera, el incremento rápido de los volúmenes de trabajo sobrepasan la disponibilidad de personal calificado para -- ejercer el control necesario y las fallas se multiplican.

#### B) CAUSAS. CLASIFICACION.

- 1.- Proyecto poco realista en cuanto a las condiciones económicas del pais.
- 2.- Materiales de baja calidad.
- 3.- Mano de obra "mal" hecha.
- 4.- Carga prematura, ó descimbrado antes del fraguado completo.
- 5.- Asentamiento en las cimentaciones.
- 6.- Fuego, etc.

La conclusión final es que estos hechos nos indican, que toda buena -- construcción debe estar sujeta a la supervisión más rigida posible. Se deberá insistir en que el director responsable de obra obligue al contratista a seguir las instrucciones apegándose a ellas hasta en los de talles más insignificantes; también debe cerciorarse de que los materiales empleados sean satisfactorios y de que se les utilice y deposite correctamente en sus sitios; asimismo deberá ver que las cimbras -- sean suficientemente resistentes y que no se quiten hasta después de - que el concreto haya alcanzado la resistencia adecuada. Pensamos que - sólo mediante una supervisión de esta clase es posible evitar fallas - en las construcciones.

Además enumeramos como causas de las fallas las siguientes aservaciones y preguntas:

- a).- Una práctica frecuentemente errónea es la de cambiar el proyecto durante la construcción sin el conocimiento del autor del proyecto.
- b).- Otro error que conduce a la falla es el dibujo de mala calidad y la insuficiente revisión de los planos.
- c).- La verificación y supervisión en busca de errores es un gasto adicional en el diseño, pero se justifica hasta el último centavo.
- d).- Muy a menudo los contratos para los proyectos excluyen partidas para la supervisión de la obra de construcción.
- e).- ¿Deberá ser el ingeniero el único responsable de la seguridad de una obra terminada?
- f).- Las omisiones en el proyecto incluyen un número de errores que se repiten con frecuencia. Por ejemplo:
  - 1.- El estudio inadecuado de los efectos térmicos.
  - 2.- El apoyo insuficiente por amarres con los muros y fallas resultantes en muros.
  - 3.- El acero de refuerzo muy corto o traslapes insuficientes o mal dispuestos; y
  - 4.- Los refuerzos de corte y flexión omitidos en las vigas.
- g).- Las prácticas viciadas de construcción abarcan errores de omisión tales como:
  - 1.- Demasiados orificios provisionales en la estructura.
  - 2.- Montaje de la estructura completa sin conexiones permanentes o sin la instalación del sistema de pisos; y
  - 3.- Arriostramiento defectuoso.
- h).- Algunas veces el arriostramiento provisional adecuado es insuficiente.

En muy contadas ocasiones la falla es causada por la serie de deficiencias en el diseño de una estructura, deficiencias tales como la escasa cantidad de refuerzos en puntos de momento máximo, o bien, las dimensiones incorrectas de las secciones de cargas normales.

Los establecimientos de varios pisos son estructuras al margen de la -

economía y es necesario reducir en lo posible los costos de construcción. Muy a menudo se emplea la continuidad en las vigas y traveses de acero para ahorrar pesos. Muchos diseños se basan, en una suposición arbitraria de la localización de los puntos de inflexión, al detallar conexiones atornilladas. La distribución variable de las cargas vivas combinada con una elección inexacta de la ubicación de la unión se traduce en agrietamiento de la losa de piso con el consiguiente resultado de escurrimientos de agua, la que daña los automóviles estacionados. Con un leve costo adicional, un análisis más cuidadoso del diseño puede eliminar muchos de esos problemas.

Por lo general los errores de dibujo y de detallado originan fallas locales que se corrigen en el campo, pero a costa de grandes gastos y pérdidas de tiempo.

En el aspecto de ejecución de la industria de la construcción, las causas más probables de falla son los errores de omisión y de comisión. En algunos casos la falla se debe a una combinación de diseños apenas suficientes y una ejecución poco cuidadosa. Diseño estructural sumamente pobre; por modificaciones hechas en obra sobre los planes del contrato; por desviaciones del contenido de planes y especificaciones y por una ejecución viciada y defectuosa.

En algunos derrumbes de estructuras se ha observado las siguientes deficiencias.

- La estructura de acero se había diseñado como restringida lateralmente, pero las losas no proporcionaban suficiente restricción. La mano de obra fue deficiente; hubo malas soldaduras de campo; se omitieron algunos pernos en las uniones de las traveses; la mala colocación de los pernos de anclaje se corrigió ampliando los orificios de las placas por medio del sopleteo; se sustituyeron algunas soldaduras de tapón de tornillos y se omitieron pernos de anclaje.

-Los planos estructurales fueron elaborados por los dibujantes del arquitecto partiendo del croquis proporcionados -- por el ingeniero, quien los firmó sin verificar los dibujos terminados. Tampoco se verificaron los dibujos de taller y se constató la conveniencia de la soldadura de campo, a pesar de que todo aparecía formalmente aprobado. Las soldaduras de tope de las placas de unión no fueron biseladas y una de esas soldaduras en la cuerda inferior de la armadura principal, fué considerada como causa de la falla. En la cuerda superior de las armaduras de peralte variable, para unir las soldaduras con las armaduras maestras, sin -- contar con la aprobación formal de los diseñadores, se omitieron armaduras maestras a fin de proporcionar un "techo - respirador". La conexión se hizo con los tornillos de montaje. El agua se almacenó en la depresión del techo flexible ocasionando una flexión progresiva que llegó a provocar la falla.

-El acero montado resultó tan defectuoso que toda la estructura tuvo que ser demolida.

-Deshonestidad del contratista.

En la industria de la construcción, si se desean evitar las fallas, es indispensable la competencia.

## CIMENTACIONES DE ESTRUCTURAS

Un axioma universalmente aceptado en ingeniería es la necesidad de una cimentación adecuada para toda estructura. Todas las cargas se deben transmitir al terreno, de tal manera que los asentamientos resultantes puedan ser tolerados por la estructura y ésta tenga estabilidad durante todo el período de su vida útil. La introducción de una cimentación en la masa del terreno produce un nuevo conjunto de condiciones físicas. La subsiguiente adición de cargas durante la construcción y después de ella, así como la construcción de cimentaciones en las zonas adyacentes pueden modificar las condiciones físicas y afectar la capacidad existente de carga.

La construcción de cimentaciones es una técnica ya muy desarrollada que consiste en conservar ciertas condiciones de equilibrio desde el momento del principio de las operaciones, cuando sólo se cuenta con una capacidad mínima de carga del terreno, hasta que la obra se encuentra totalmente incorporada al terreno.

Invariablemente la guía para llegar a un diseño satisfactorio y a una elección adecuada de los métodos de construcción deberá ser el análisis cuidadoso de los efectos derivados de las condiciones más desfavorables. Si no se considera algún factor que en un momento dado pudiera desvirtuar la resistencia del terreno (por mucho tiempo si se trata del diseño, o por corto tiempo en el caso de la construcción), casi siempre hay una falla, ya sea en el derrumbe total de la estructura o en forma de distorsiones.

### A) SOCAVACION EN LOS APOYOS.

Las condiciones de cimentación y a veces la existencia misma de estructuras adyacentes se menosprecian en absoluto con resultados trágicos. Las excavaciones hechas por debajo y junto a muros o zapatas de columnas existentes reducen en forma considerable la capacidad de carga, sin embargo, con frecuencia se cometen errores de esta naturaleza.

Las rocas agrietadas deben apuntalarse o reforzarse en forma provisional hasta que queden cubiertas y amarradas por la construcción perma-



nente. Las sobrecargas de cimentaciones estables puede ocasionar la falla de las mismas. Aun las excavaciones en roca llevadas a un nivel inferior al de cimentaciones construidas también sobre roca, pero con grietas desfavorablemente inclinadas pueden provocar pérdidas de resistencia y fallas de los muros.

En las excavaciones para efectuar cambios en las tuberías de drenaje o de agua en los edificios ya construidos casi siempre consideradas como operaciones menores y sin importancia, se descartan las posibilidades de socavación.

#### B) FALLAS DE TRASMISION DE CARGAS.

Una estructura estable, ya sea que se diseñe para conservar la rigidez o bien que la obtenga de la integración del conjunto de muros, pisos - divisorios, siempre ajusta sus cargas para compensar los asentamientos diferenciales de la cimentación.

Cuando se rompe el equilibrio de fuerzas debido a la pérdida total o parcial de algún apoyo, las reacciones se transmiten y redistribuyen entre los apoyos disponibles, modificando así todas sus cargas.

Cuando los movimientos de la cimentación se traducen en distorsión de la mampostería, la investigación para localizar el origen del problema debe empezar por considerar que la falla se debe a una transmisión de cargas y que la falla de la cimentación no se encuentra en la misma posición que ocupa el desperfecto observado.

#### C) MOVIMIENTOS LATERALES.

Dentro de la fraternidad de los constructores de cimentaciones se admite, por regla general, que un movimiento lateral de 1 pulg. causa más daños a las estructuras que un asentamiento de la misma magnitud. El desplazamiento lateral se origina por la introducción de fuerzas horizontales no equilibradas, que a veces se derivan de la eliminación de una componente de resistencia o de la acumulación temporal o permanente de una presión activa contra la cual no se proporciona ninguna resistencia adicional. En el análisis para el diseño, deben considerarse

todos los cambios posibles, tanto en las presiones activas como en las resistencias pasivas, en las condiciones normales del nivel de las --- aguas freáticas; la saturación siempre aumenta las activas y a menudo disminuye las pasivas.

Ha habido muchos informes de derrumbes, acaecidos con posterioridad a la demolición de edificios adyacentes, en donde se ha dejado abierto - a la intemperie algún sótano más abajo del nivel de las cimentaciones vecinas. Aunque existan condiciones de estabilidad (tal vez el factor de seguridad es menor que el esperado), cuando los edificios están aún intactos, las presiones horizontales impuestas por el suelo a los mu-- ros inferiores del sótano, pueden ser resistidas mientras éstos se encuentran sobrecargados, pero al eliminarse los pisos superiores los mu ros ceden y el material del suelo fluye con los resultados anotados.

#### D) APOYO DESIGUAL.

Todas las cimentaciones sufren asentamientos al recibir la carga, pero estos no son iguales, a menos que las resistencias de los suelos y la - distribución de cargas también le sean. De no ser así, resultarán asen-- tamientos diferenciales con las consiguientes transmisiones de cargas y desnivelación de la estructura. Cuando el armazón no es estructuralmente rígido, los muros quebradizos se cuarteán a lo largo de las ca-- rras en donde aparezcan considerables esfuerzos cortantes limitando el volumen que pueda ser sostenido por el apoyo de menor resistencia. Se sabe de algunos ejemplos clásicos de edificios que perdieron su verti-- calidad a consecuencia de la falta de uniformidad del suelo donde se - cimentaron.

Los edificios cimentados sobre un terreno con diferentes capacidades - de apoyo en distintas áreas, especialmente si sus muros son de carga, se agrietan inmediatamente proporcionando así de una manera natural la junta necesaria que se había omitido. Los costos para reparar y reci-- bir la cimentación unidos a las pérdidas económicas por retrasos en la utilización del edificio exceden en mucho el costo de cimentaciones se-- paradas y de diseño estructural individual.

## E) ARRASTRE Y LEVANTAMIENTO.

Una vez que una zapata queda sometida a su carga y el suelo subyacente se comprime proporcionando cierta resistencia con rapidez si son suelos granulares y en un periodo más o menos largo si son arcillas, la estructura permanece estable puesto que la cimentación ya no se asienta más. La estabilidad depende de las áreas perimetrales tanto como del suelo directamente bajo la zapata, o bajo la punta de los pilotes, según el caso. Si se elimina o se altera el suelo bajo las zapatas, se induce el asentamiento o bien el desplazamiento lateral. Si se eliminaran las áreas perimetrales, la forma de la reacción del suelo cambiaría y aun en el caso de que quedara alguna resistencia suficiente para soportar la carga sin asentamientos adicionales, el centro de la resistencia cambiaría y se generaría un momento que afectaría la estabilidad del apoyo. Cuando las áreas circulares se sobrecargan debido a una nueva estructura, ocasionando nuevas compresiones en el volumen del suelo afectado, es posible que el área precedente pueda tomar una parte de la nueva carga debido a su resistencia interna. En ese caso resulta un asentamiento, nuevo o inesperado en su totalidad, de una estructura anteriormente bien equilibrada. Si el nuevo edificio no queda separado de la construcción ya existente, el asentamiento debido a la compresión del suelo ocasionada por la nueva carga producirá una transmisión parcial de cargas al muro ya construido lo cual, a su vez, originará una sobrecarga de la zapata que de otra manera permanecería perfectamente estable.

Muy a menudo en los suelos plásticos, estos nuevos asentamientos van acompañados de movimientos verticales hacia arriba (levantamientos del suelo) a una distancia considerable. Los llamados suelos líquidos no pueden sufrir cambios en su volumen, así que cualquier nuevo asentamiento debe producir, por fuerza, un levantamiento de igual volumen en algún otro sitio. Sin duda alguna, el no tomar en cuenta una consideración tan elemental como ésta, ha sido la causa de la gran mayoría de los litigios provenientes de la construcción de cimentaciones en las ciudades, es decir, en las áreas urbanas donde estructuras vecinas -

existentes con frecuencia son expuestas a peligros inminentes de fallas.

#### F) ERROR DE DISEÑO.

Prácticamente no existen registros de fallas de una cimentación como unidad estructural. Muchas veces se diseñan cimentaciones de pilotes careciendo de datos suficientes relativos al subsuelo, o bien menospreciando las verdaderas condiciones del terreno; esto se traduce invariablemente en fuertes gastos posteriores para corregir los defectos resultantes.

Los procedimientos de diseño estructural de cimentaciones tienen suficiente factor de seguridad; siempre los errores inducen a hacer suposiciones acerca de propiedades de las que carece el terreno.

#### G) ERROR DE CONSTRUCCION.

La construcción de cimentaciones lleva en sí dos fuentes potenciales de error diferentes. En la etapa de la construcción propiamente dicha, es necesario ejecutar ciertos trabajos provisionales, expeditivos y de protección, que siempre están sujetos al peligro de falla y al derrumbe, puesto que en ellos, dado su carácter temporal, y aplicando una economía mal entendida, los factores de seguridad se mantienen a un nivel mínimo. Sin embargo, esos trabajos con frecuencia resultan de naturaleza más considerada. Así pues, gran cantidad de fallas en la etapa de la construcción de las cimentaciones originales pueden incluirse dentro de ese grupo y no atribuirse a un mal funcionamiento de la estructura terminada.

El no tomar en cuenta el desplazamiento lateral interno de los suelos, constituye un error cometido frecuentemente en el hincado de pilotes en suelos plásticos. El levantamiento de las cubiertas de pilotes así como su deformación o ruptura se puede evitar construyendo cubiertas más fuertes o bien empleado una secuencia de instalación, o de hincado, para hacer desaparecer las altas presiones de peso inducidas en el material del suelo.

#### H) FLOTACION Y CAMBIOS EN EL AGUA.

Un cambio en el contenido de agua del subsuelo, ya sea por saturación o por desecación, modificará necesariamente las dimensiones y la estructura de los materiales de apoyos, excepto en suelos granulares bien consolidados. Existen informes de dos accidentes en los que ciertos asentamientos, localizados en un edificio, tuvieron su origen en el bombeo de agua para enfriamientos hechos por uno de sus inquilinos. Para mantener el nivel original de las aguas freáticas, los suelos circundantes de una excavación protegida por ataguías, deben volver a cargarse. El bombeo sostenido por largos periodos de tiempo ocasiona la desecación del suelo; este puede ser causa de la descomposición de pilotes de madera sin tratar y, por tanto, de la falla absoluta de los mismos. Las consecuencias resultan particularmente peligrosas para obras de larga duración.

#### I) EFECTOS DE LAS VIBRACIONES.

Las masas de tierra que no están consolidadas en su totalidad cambian de volumen si se les somete a la acción de los impulsos vibratorios. La fuente de las vibraciones puede ser el equipo de construcción, especialmente martinets, el equipo de operación en un edificio ya terminado o aun el tránsito de vehículos sobre el pavimento duro y los impactos causados por explosiones. Las operaciones con explosivos deben planearse cuidadosamente tomando muy en cuenta la estructura de las grietas de las rocas involucradas, con el fin de evitar serios daños por vibración a las construcciones adyacentes y vecinas.

#### J) EFECTOS DE LOS TEMBLORES DE TIERRA.

Las cimentaciones en las zonas amenazadas por temblores de tierra deben diseñarse de tal forma que resistan toda la gama de choques y sacudidas de origen natural. En los últimos años se han registrado varios temblores de tierra que han causado daños. Por regla general, los efectos de los mismos son mucho menores en las cimentaciones que en las superestructuras, en especial si se trata de fenómenos de corta du

ración. Durante las vibraciones sostenidas por mucho tiempo se puede - alterar seriamente los suelos y la gran mayoría de los daños se deben a fallas de las cimentaciones por pérdida de la capacidad de carga del suelo. Los movimientos verticales y laterales del sismo, destruyen muchos edificios debido a la inestabilidad de los suelos, independientemente de que estuvieran bien construidos sobre diseños antisísmicos. Se están realizando estudios y pruebas a escala natural acerca de los métodos para reforzar el suelo por medio de drenes de arenas, anclajes, también de arenas, y contrafuertes de grava. El diseño de las cimentaciones siempre debe coordinarse con el funcionamiento que se espera de la superestructura.

Las distorsiones estructurales que surgen a causa de las insuficiencias de las cimentaciones, en el mejor de los casos, originan un mantenimiento costoso, y en el peor, terminan con un derrumbe total. Todas las estructuras poseen cierta resistencia a los asentamientos diferenciales de los componentes de la cimentación, pero cuando el apoyo resulta con un esfuerzo que sobrepasa su límite elástico, si no se refuerzan inmediatamente sus elementos, la falla es inevitable.

## CONSTRUCCIONES BAJO EL TERRENO NATURAL

Las fallas en las obras subterráneas siempre son costosas, en dinero - en tiempo y, a veces, en pérdidas de vidas. Tanto en lo legal como en lo puramente económico, los altos costos de los accidentes en las obras han contribuido en gran medida a lograr una mejor planeación, pero aún hay mucho por hacer en lo que respecta al adiestramiento del personal para planear y ejecutar las obras correctamente, porque la habilidad para eso ni se hereda, ni se puede obtener leyendo los textos escolares; como tampoco es posible asignársela a las computadoras.

### A) ZANJAS.

La excavación de zanjas para defensa, desagües, vías fluviales y para la inserción de conductos y de cimentaciones. En cualquier clase de terrenos no pueden excavar zanjas, sin perjuicios para los trabajadores, el público y las construcciones vecinas existentes. Al respecto es interesante hacer notar que la definición de "seguridad" tiene un requisito de tres aspectos:

- 1.- Estar a salvo de peligros y riesgos.
- 2.- Estar a salvo de lesiones.
- 3.- Poseer inocuidad, que es el poder permanecer sin lesión, pérdida o responsabilidad.

La seguridad es algo más que la mera ausencia de fallas o derrumbes. Existen ahora varios dispositivos prefabricados como defensa de la elevada frecuencia de los derrumbes de excavaciones y como solución económica a las exigencias de los reglamentos, en el sentido de proteger con tablaestaca y apuntalar las excavaciones.

### B) ATAGUIAS Y APUNTALAMIENTOS.

Las fallas de las ataguías en zanjas son menos frecuentes a medida que aumenta la conciencia de los contratistas de que los tablonces de madera, a menudo hincados a mano en el terreno, no son suficientes para resistir las presiones ocasionadas por las sobrecargas de los pesados equipos de excavación y tendido de tuberías. Los métodos de excavación a mano permitían el apuntalamiento de las paredes a medida que le

iban exigiendo las condiciones en los niveles inferiores. La excavación mecanizada, mucho más rápida, ahora requiere ataguías más resistentes y colocación de largueros, y puntales bien estudiados.

El propósito del tablaestacado no sólo es proteger las obras comprendidas dentro del mismo, sino también prevenir la alteración o eliminación de apoyo de estructuras vecinas. Los movimientos de la ataguías y especialmente de los puntales no pueden eliminarse en su totalidad y deben idearse alguna manera de compensar los resultados de la acción perturbadora del equilibrio durante la excavación propiamente dicha, si se trata de explosiones o de instalación de cajones particularmente. Aun suponiendo un diseño perfecto del tablaestacado, el control de esos movimientos (que a veces van seguidos de derrumbe total) exige un cuidadoso análisis de los detalles. A toda costa deben evitarse las sobrecargas, tales como las provocadas por las operaciones del equipo pesado en la orilla de la excavación y, más aún por el almacenamiento de fierro estructural y placas en los sitios cómodos pero peligrosos al borde de las ataguías.

El apuntalamiento diagonal transmite cargas verticales, hacia arriba, a las ataguías, o a las viguetas. Si la fricción del suelo, modificada por su contenido de agua y por las vibraciones, no es capaz de resistir tales reacciones, las secciones inferiores hincadas en el suelo deberán tener capacidad suficiente para tolerar el empuje total hacia arriba.

El apuntalamiento interior, ya sea horizontal o inclinado, siempre estorba al movimiento del equipo de excavación, y a menudo exige cortes en los muros de los sótanos con la incipiente filtración de agua en los muros ya terminados. El tablaestacado y el apuntalamiento rara vez se instalan utilizando la tolerancia acostumbrada para las estructuras permanentes.

#### PILOTES Y CELDAS DE CIMENTACION.

Los pilotes y celdas de cimentación deben considerarse como elementos estructurales que se utilizan para transmitir cargas al suelo. A veces, el valor estructural de un pilote o de un grupo de pilotes no se calcula



la debidamente en todos sus aspectos, por lo que a menudo ocurren fallas ya sea en el pilote mismo, en las estructuras que sostiene o en ambos.

Se debe considerar que los pilotes de madera constituyen un alimento particular de ciertos hongos y animales marinos y además que son susceptibles de deteriorarse cuando se encuentran localizados en capas de suelo que estén sujetas a condiciones alternantes de humedad y desecación.

Los pilotes de tubo de acero, hincados hasta obtener una resistencia muy alta, se deben verificar en lo referente a su continuidad e integridad antes de proceder a rellenarlos de concreto. A veces, en los suelos se encuentran resistencias intermedias inesperadas, en forma de grandes cantos rodados y otras obstrucciones desconocidas.

Los pilotes sin ademe deben colocarse con cuidado especial y control absoluto para garantizar la integridad estructural de la pieza. En suelos que pueden fluir con facilidad se necesita perforar con anticipación un pozo ademado en el tramo del estrato plástico, a fin de evitar el desplazamiento lateral así como el empuje vertical hacia arriba de los pilotes vecinos.

Los pilotes son elementos estructurales insertados en el subsuelo para transmitir las cargas a los estratos con capacidad de apoyo o de fricción. Si el pilote no puede hincarse hasta la profundidad requerida, la solución lógica es cambiar el diseño de la cimentación o abandonar el sitio. Las celdas de cimentación excavadas a mano son de poca utilidad, a menos que el fondo de ellas llegue hasta un estrato resistente del suelo y que su cuerpo se construya de concreto sólido y continuo.

#### D) TUNELES Y ALCANTARILLADOS.

Las alcantarillas de grandes dimensiones contruidas sobre suelos no porosos deben diseñarse previendo un posible empuje hacia arriba que se deriva de las presiones hidrostáticas.

De todas las estructuras de ingeniería, los túneles son los más expuestos tanto a pequeños problemas como a fallas catastróficas. El impacto

de las operaciones de excavación de grandes volúmenes de tierra o rocas de la estructura interna de una masa estable, rompe necesariamente su equilibrio.

La eliminación súbita de los esfuerzos internos en la roca origina movimientos que no pueden predecirse por medio de la investigación geológica. Los derrumbes se pueden producir cerca del portal pero son -- más comunes en los sitios en donde la cubierta alcanza su mayor espesor. El gas natural que contienen las pizarras y los humos producidos por las máquinas siempre han provocado accidentes serios en las obras de construcción de túneles.

#### E) LAS ROCAS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.

Las fallas en las obras que contienen rocas de origen natural, invariablemente surgen a causa de las suposiciones de que la roca es un sólido continuo y homogéneo. El alto costo de las piedras preciosas sin impurezas debiera ser una magnífica advertencia de que la continuidad y homogeneidad son características raras en la estructura de -- las rocas. Por lo general se espera encontrar las rocas más suaves, -- las agrietadas, sobre lechos de otras mucho más firmes. Pero este no siempre es cierto. El lecho de roca puede ser continuo desde el punto de vista estrictamente mineralógico, pero puede contener grietas interiores abiertas (a menudo llenas de lodos suaves, depositados por el agua), que afectan muy seriamente su valor estructural desde el punto de vista de la ingeniería. La existencia de grietas de esa naturaleza se traduce en una resistencia indefinida de la roca, imposible de determinar, y hacer prácticamente inútil el uso de pernos y de anclajes laterales o de sostenimientos. Las cavidades naturales o artificiales dentro de las rocas pueden provocar grandes hundimientos en la superficie o de presiones locales.

Las excavaciones en túneles también son susceptibles de resentir daños a consecuencia de los movimientos de las rocas a lo largo de las grietas internas que se van cortando a medida que la excavación progresa. En algunas rocas se puede advertir ciertas señales que anuncian

la rotura o el estallamiento. Los adelantos más recientes en la fabricación de instrumentos geofísicos han hecho posible que mediante el uso de dichos instrumentos se pueda predecir la posibilidad de movimientos de la roca. La roca es una suma discreta de partículas minerales integradas por compresión en un sólo cuerpo. Sus propiedades elásticas determinadas por el estudio de los corazones de muestras sólo son confiables para esfuerzos de pequeñas magnitud. Para los grandes esfuerzos, la estructura de las grietas y la anisotropía propia de la roca deben considerarse, así como se debe considerar el escurrimiento plástico del ajuste en las juntas de los cristales operado con el tiempo.

El escurrimiento de rocas en la construcción de túneles profundos es un fenómeno conocido, tal como lo es el desmoronamiento, el estallamiento y las astilladuras de las rocas expuestas. La excavación de una vía subterránea en una área ya poblada brinda una buena oportunidad para examinar las condiciones de la roca previamente probada y utilizada para soportar las cargas. Otras rocas también se comportan mal cuando quedan expuestas. En estos casos el único remedio es evitar la oxidación cuando la roca queda expuesta, ya sea cubriéndola con concreto o sellándola con pintura bituminosa.

La roca natural es el mejor material posible para las cimentaciones pero presenta problemas de diseño y de construcción. Esos problemas deben afrontarse con un criterio abierto y con plena conciencia del hecho de que todas las rocas son rocas, pero que para los fines de la construcción no todas son iguales; tampoco, después del shock operativo permanecen tan estables como lo eran antes de empezar la construcción. Cuando uno considera que los suelos provienen de las rocas de las montañas y que éstas continúan desgastándose, la "estabilidad de la roca sólida" adquiere un nuevo aspecto general.

## CONSTRUCCIONES AL NIVEL DEL TERRENO NATURAL,

La acción de la gravedad, ayudada por los vientos y por las lluvias se lleva las colinas hacia los valles y los valles hacia el mar. La continua actividad tectónica y la acción sísmica esporádica vuelven a formar nuevas colinas y el ciclo se repite. A veces el hombre interrumpe este ciclo natural de transformaciones. Por ejemplo, cuando excava en el terreno y deja taludes en el suelo; cuando construye terraplenes sobre la superficie limitándolos con taludes artificiales; cuando cubre el suelo con colchones impermeables; cuando escalona las superficies y retiene los niveles superiores con muros de contención, y cuando almacena, en tolvas, materiales provenientes de los suelos. En algunas de estas construcciones se disminuye la resistencia de los suelos naturales o bien en su nueva posición los suelos no resisten los esfuerzos y resulta una falla. Es cierto que ahora los diseños son más atrevidos, de mayor alcance, y que las dimensiones y funciones de los proyectos son mucho más importantes, pero con la disminución del control de calidad y menos contacto directo entre el diseñador de la obra y su ejecución. Cada uno de estos factores contribuyen al desarrollo de fallas. Por otra parte, esos factores no están limitados a las estructuras de tierra, sino que también influyen, y a veces en mayor grado, en muchas de las dificultades experimentadas en el campo de las superestructuras.

La falta de deslizamientos anteriores no garantiza que la estabilidad del área permanecerá imperturbable si se efectúan excavaciones o se colocan cargas adicionales sobre el terreno. Pero la existencia de movimientos previos sí hace indispensable tomar precauciones especiales en las nuevas construcciones, pues la "cicatrización" natural de las superficies de deslizamiento raras veces vuelve a dar a las masas del suelo su resistencia original.

### A) TALUDES Y DESLIZAMIENTOS.

En los suelos de arcilla las superficies de deslizamiento no existen antes del fenómeno; dentro del prisma de falla de tales suelos la su-

perficie de ruptura no es una línea recta; es una curva; como consecuencia, la teoría de Coulomb no es aplicable a esos suelos; y, que - la línea de ruptura y de deslizamiento espontáneo aparece como una cicloide o como una curva de esa familia. Además, después de ocurrido - un deslizamiento la superficie de un terraplén de arcilla no es permanentemente estable a menos que ocurra una de las tres condiciones siguientes:

- 1.- La cohesión de la masa central inmóvil es suficiente para asegurar la estabilidad de los taludes.
- 2.- La masa móvil cubre constantemente la superficie de deslizamiento para equilibrar la componente de la acción de la gravedad y de -- esa manera impedir una nueva ruptura.
- 3.- Existe una sustitución de las masas móviles del suelo (después de ser removidas) por mampostería y otro tipo de obras dispuestas de tal manera que, desde el punto de vista estático, produce el mismo efecto, es decir, que existe una igualdad material entre las - fuerzas que mantienen el sistema como tal y aquellas que tienden a destruirlo.

Las huellas de los efectos de los deslizamientos en bancos de arcillas se pueden reconocer con facilidad por su curvatura y por la formación de grietas verticales en la superficie.

Cuando la roca queda expuesta a la intemperie se debilita por la - -- acción de los elementos, acción que a veces se ve muy ayudada por la expansión de las raíces de los árboles. La acumulación de la humedad en las grietas abiertas se extiende aún más cuando se congela el agua y hace aumentar el tamaño de las ranuras, con lo cual se origina la ruptura de la roca. Los deslizamientos de pequeñas dimensiones son comunes en la construcción de cimentaciones y muy a menudo se deben a - la falta de cuidado o bien al deseo de ahorrar en el costo del apuntalamiento provisional.

El hecho de no considerar los efectos climatológicos en el subsuelo - ha dado lugar a muchas fallas en los pavimentos. En todos los casos - la falta de control de la humedad es la causa determinante.- Las dife-

rentes condiciones de los suelos y las distintas cantidades de precipitación pluvial exigen diversas medidas de protección.

La concentración del agua proveniente de las obras de desagüe puede llegar a arruinar los terraplenes mejor contruidos, en terrenos que no posean una porosidad uniforme.

#### B) HUNDIMIENTOS.

Aun sin los impulsos de los temblores de tierra, las grandes masas de suelos en forma continua están levantándose y cayendo, aunque lentamente. A veces los hundimientos de tierra son provocados por los cambios que produce el hombre en el medio ambiente. A menudo los levantamientos del terreno obedecen a cambios en el contenido de agua de los suelos, o bien a su exposición a las heladas. Cuando estos cambios se operan en áreas pobladas, las pérdidas por los daños sufridos por las estructuras superficiales pueden ser muy cuantiosas. El hundimiento continuo y prolongado de la ciudad de México, relacionado con el abatimiento del nivel de las aguas fráticas, debido al bombeo efectuado desde hace muchísimos años, está aún sin resolver, aunque en la actualidad el bombeo está cuidadosamente controlado y los pozos han sido remplazados por fuentes alejadas de la cuenca de la ciudad.

La evaporación reducida bajo ciertas cimentaciones, unida a la sombra proyectada por la casa y al riego de los jardines, da, muchas veces, como resultado un aumento considerable en el contenido de humedad en los suelos vecinos a esa casa. Esto ha hecho poner más atención en la necesidad de tomar precauciones especiales al instalar tuberías subterráneas en suelos potencialmente expansivos. Es preferible colocar tales instalaciones en trincheras de concreto con cubiertas removibles o en otro tipo de conductos con desagües efectivos. En muchos casos se puede instalar las tuberías completamente sobre el piso y así se asegurará la atención inmediata en caso de fugas.

#### C) MUROS DE CONTENCIÓN.

El control del relleno para asegurarse de que se cumple con lo estipulado en el diseño es tan importante como el control que debe ejercerse en toda construcción de concreto.

## DESASTRES NATURALES Y ORIGINADOS POR EL HOMBRE.

La aceptación de riesgos más allá de los límites convencionales puede ser una magnífica medida en el aspecto económico, pero es frecuente -- que las fallas a que tal aceptación pudiera conducir se traduzca en -- desastres cuando una mejor elección de los límites de seguridad hubiera dado como resultado una solución eficaz. No hay nada comparable a -- los fenómenos naturales, un ciclón o un temblor de tierra, para exhi-- bir los errores, las omisiones o los ardidés empleados en la cons--- trucción. Por eso es que las fallas son tan comunes en estructuras -- expuestas a la acción repentina de tormentas o de sismos y también por eso los derrumbes sobrevienen, a veces casi misteriosamente, durante -- fenómenos de menor intensidad que otros similares, anteriores, de los cuales las estructuras consideradas han salido absolutamente ilésas. La falta de precauciones para enfrentarse a situaciones normales ya es peradas, por lo general derivadas de una carencia en las funciones de control, puede ocasionar fallas catastróficas. Estas fallas originan -- complicados juicios legales y hasta acciones penales por negligencia, pero no son inevitables; son simplemente desastres fabricados por el -- hombre.

### A) DERRUMBRES DURANTE LA DEMOLICION.

Las estructuras en el proceso de montaje con frecuencia son menos re-- sistentes que cuando ya se encuentran terminadas. De la misma manera, -- durante la demolición pasan por varias etapas críticas, particularmen-- te si su margen de seguridad es reducido y el deterioro y las modifica-- ciones sufridas han debilitado algunos de sus elementos. Así pues, la demolición de una construcción cualquiera, debe planearse considerando esas dos condiciones. Muy a menudo, los miembros de contraventeo y los muros de carga se eliminan indiscriminadamente cuando se retiran los -- equipos de construcción dejando el cascarón en grave peligro de de-- rrumbarse, pues los muros restantes quedan sometidos a cargas excéntri-- cas y de mayor magnitud que las originales.

#### B) DERRUMBES POR DETERIORO.

Son pocas las estructuras que se derrumban debido al deterioro natural, por lo general éstas se hacen obsoletas y se derriban intencionalmente antes de que su debilitamiento llegue a ser crítico. Con frecuencia se olvida efectuar las inspecciones necesarias de las estructuras, aun en los casos en que se dispone de accesos especialmente previstos para -- ello.

#### C) DERRUMBES POR SOBRECARGA.

La colocación de placas que indiquen las cargas máximas permisibles en un área dada, ya es una práctica común en casi todas las ciudades; su necesidad se hace evidente al examinar los archivos en que aparecen relaciones de accidentes por fallas ocasionadas por sobrecargas que han sobrepasado el valor último de la capacidad de carga de las estructu-- ras.

#### D) DERRUMBES POR MODIFICACIONES.

Los continuos cambios experimentados en todas las actividades humanas, -- con el correr del tiempo frecuentemente exigen modificaciones de las -- condiciones físicas de los edificios y, a veces, hasta de los puentes. Muchos de los reglamentos de construcción especifican con claridad que las personas interesadas tienen la obligación de obtener permisos espe-- ciales cuando se trata de efectuar en los inmuebles cambios o arreglos que impliquen la remoción o la modificación de cualquier elemento es-- tructural. Sin embargo, es sorprendente la desaprensión general hacia la importancia que en realidad reviste el hecho de hacer modificacio-- nes a una estructura de cualquier conjunto, aunque éste se considere -- como absolutamente seguro.

#### E) DAÑOS OCASIONADOS POR INCENDIOS.

Los incendios no se anuncian, por lo que la necesidad de protección -- contra el fuego se aprende a costa de experiencias muy dolorosas en ca sos en los que con frecuencia ocasionan pérdidas enormes de bienes ma-- teriales y, a veces, hasta de vidas humanas. Las recomendaciones de --



de las compañías de seguros siempre han contado con una gran publicidad y son muy fáciles de obtener. Las altas temperaturas desarrolladas durante la combustión de muebles, enseres y otros diversos materiales inflamables, ocasionan invariablemente daños muy serios, aun a las construcciones protegidas con retardadores así como a las que se catalogan dentro de la clasificación de las construidas " a prueba de incendios".

#### F) DAÑOS POR EXPLOSIONES Y VIBRACIONES.

Las vibraciones e impactos derivados de explosiones accidentales o de técnicas de operación de la construcción o producción, pueden causar daños intempestivos a las estructuras y hasta ocasionar pérdidas de vidas. Muchos de esos accidentes pueden predecirse, haciendo obvio el establecimiento de ciertas medidas precautorias en las operaciones de producción y la incorporación de resistencias, adecuadas al caso, en los elementos de construcción que pudieran resultar afectados.

Los efectos de las explosiones han sido sistemáticamente estudiados -- desde dos puntos de vista completamente diferentes entre sí:

- a) La concentración y la localización óptimas para la fractura de las rocas según la configuración y fragmentación deseadas; y
- b) Las restricciones impuestas para su utilización con el fin de evitar daños a las estructuras existentes.

Si todas las rocas tuvieran una misma densidad y fueran, además, isotrópicas, y si todas las estructuras vecinas tuvieran apoyo similar en su cimentaciones, se podrían encontrar respuestas dignas de toda confianza en lo que respecta al inciso anterior. La disponibilidad de nuevos explosivos y el mejoramiento de las técnicas de barrenación, requieren, por otra parte, un estudio continuo del inciso a., en sus aplicaciones a cada problemas particular. Los prejuicios que pueden -- llegar a ocasionarse con las explosiones constituyen un factor decisivo en los análisis económicos para las excavaciones en roca.

#### G) DAÑOS OCASIONADOS POR EL VIENTO.

Es de esperarse que en ciertos casos las tormentas que alcanzan inten-

sidad de huracán, tornado o tifón causen daños considerables a las estructuras, a pesar de que éstas pueden diseñarse, por procedimientos bien conocidos, para resistir perfectamente las fuerzas desarrolladas en esos fenómenos, excepto, tal vez, cuando se trata de un impacto directo. El estudio de la resistencia para esa clase de cargas requiere muy especialmente la consideración del hecho de que las fuerzas producidas por el viento no son presiones horizontales uniformes. La succión, el levantamiento y la torsión son la causa principal de la mayoría de los daños.

Se ha sabido de techos, o partes de ellos, que en unión de sus muros de apoyo han sido levantados por el viento. Las estructuras de techos sin muros son raras, pero son afectadas por el viento.

Antes de la instalación de los pisos permanentes y de los muros que proporcionan estabilidad lateral, las estructuras de acero de los edificios angostos son muy vulnerables a las cargas de viento, aun cuando éstos sean muy inferiores a las supuestas en el diseño para la estructura ya terminada.

#### H) TORMENTAS EN TIERRA.

Con frecuencia en los diarios se encuentran noticias de accidentes más o menos parecidos ocasionados por el viento, cuando en los diseños respectivos no se incluyen elementos de resistencia adecuada en contra de la succión y de las otras fuerzas verticales, hacia arriba, originadas en la acción del viento. Las tempestades siempre traen consigo torrenciales lluvias que ocasionan las fuertes avenidas de los ríos que averían los puentes y las construcciones levantadas en sus márgenes. Después de cada percance, se elaboran estudios relativos a las pérdidas sufridas por no haber construido a tiempo canales de alivio ni contar con medios apropiados para controlar el flujo de las aguas extraordinarias.

#### I) DAÑOS CAUSADOS POR LOS RAYOS.

La protección de los edificios muy altos en contra de las descargas --

eléctricas atmosféricas, ya es un requisito universalmente reconocido, pero algunos casos de averías causadas por rayos que han incidido sobre pavimentos de concreto, indican muy claramente que el refuerzo, -- muy a menudo soldado, también debe conectarse a tierra en las juntas - de dilatación.

#### J) EFECTOS DE ENCHARCAMIENTOS POR LAS LLUVIAS.

Con los techos planos que se construyen cada vez más ligeros y con los grandes claros que también aumentan cada día, ha habido muchos casos - de fallas de techos por encharcamiento de agua. Esto debiera consti--- tuir un llamado de alerta para los proyectistas y obligarlos a tomar - las debidas precauciones. En todos los diseños de techos planos, las - bajadas de agua se localizan cerca de las columnas, en donde no se re gistran deformaciones de la estructura. Las lluvias abundantes y repen<sup>ti</sup>nas añaden todavía más agua, la cual incrementa la deformación en -- una forma tan rápida que origina la falla de algún pequeño detalle que desencadena el derrumbre de una sección del techo. Ya se han escrito - muchísimos artículos técnicos con el fin de demostrar que sólo se nece sita obtener una rigidez mínima y crítica de los elementos integrantes de la estructura para evitar los mencionados accidentes.

#### K) FALLA POR CARGA DE NIEVE.

La familiaridad con la nieve y su peso asegura que en todos los reglamentos de construcción aparezcan especificaciones adecuadas por lo que a cargas de nieve se refiere, pero, normalmente, dichas especificaciones se limitan a las cargas uniformes y estáticas. El gran número de - fallas de techos ocurridos en los mismos "países donde nieva" cuando - en los diseños no se suponen cargas de mayor magnitud que aquellas establecidas en los reglamentos, indican que dichas especificaciones no se apegan a la realidad y, además, que tal vez esas cargas no son de - naturaleza puramente estática.

#### L) FALLA POR SISMOS.

El enfoque del problema de los sismos casi siempre se ha hecho desde el

punto de vista teórico del desarrollo de las fuerzas mínimas que deben resistir las estructuras afectadas por el fenómeno, considerando no sólo la intensidad de las sacudidas sino también las masas, las formas, los tipos de estructuras y las condiciones geológicas locales.

El análisis empírico de los daños reales sufridos, por las construcciones parece indicarnos que la confianza en los posibles resultados se basa más que todo en los axiomas y suposiciones (muy frecuentemente exagerados para simplificar el proceso matemático y ahorrar tiempo en la elaboración de los proyectos) utilizados en la preparación de los reglamentos.

En el proceso del diseño de estructuras resistentes a los sismos debe considerarse que existen muy serias limitaciones en lo que se refiere a las condiciones del terreno, materiales y mano de obra disponibles, costumbres históricas en la construcción, finalidad de las construcciones, valor económico de las resistencias adicionales y, por último, en el factor de seguridad. Los mejores diseños de estructuras resistentes a los sismos no pueden escapar al deterioro cuando los suelos que se encuentran bajos las cimentaciones se licúan con las sacudidas. Son bien conocidos los efectos de las más leves vibraciones como las generadas por el tránsito de vehículos ó equipo de construcción sobre terrenos sueltos y saturados.

Los materiales disponibles, así como la mano de obra del lugar tienen que utilizarse forzosamente. El insistir en construir con estructuras de acero especiales, redundaría en una continuación de las prácticas locales que se realizan aunque su aplicación resulte por demás insegura.

En el diseño, la flexibilidad para absorber la energía de las sacudidas de los sismos, es una necesidad plenamente reconocida. El grado de flexibilidad depende del uso que vaya a darse a una determinada estructura. La tolerancia puede ser mucho mayor en una fábrica o en un edificio comercial que en una residencia. También es muy importante la elección de los elementos no estructurales que puedan tolerar las flexiones y deformaciones de la estructura de apoyo. En una estructura en donde se combi

nan elementos de diferentes rigidez, el más rígido absorberá primero - la energía del impacto, y si no es lo suficiente resistente o robusto para permanecer indeformado bajo la acción de las fuerzas sin la ayuda de los demás miembros, se romperá dando origen a una reacción en cadena de fallas, si el fenómeno del impacto persiste. Si la estructura -- completa se mueve como una sola unidad, existe mucho menor peligro de derrumbe.

No hay nada como un temblor de tierra para dar a conocer las deficiencias de diseño, los defectos de las construcciones o cualquier incompatibilidad de deformación entre elementos adyacentes. En la obra de --- construcción casi nunca se alcanza una perfección completa, y en lugares en donde la mano de obra es escasa y la época de construcción bastante corta, tal perfección no debe esperarse jamás.

Por lo tanto, los detalles del diseño deben elaborarse de tal manera - que la continuidad de la estructura, las uniones y las resistencias a la cortante no resulten degradadas por las prácticas locales de construcción.

La verdadera naturaleza de las fuerzas desarrolladas durante un sismo es demasiado complicada; por ellos es que la teoría de la resistencia contra sismos, debe, por el presente al menos, fundarse en hipótesis a las que ni el sismo ni la estructura se podrán comparar.

Las fuerzas engendradas por los sismos no son fuerzas estáticas: Se -- pueden neutralizar los efectos de la gravedad y son irregularmente pasajeras. Para que una estructura esté a salvo de daños durante un sismo debe ser diseñada para resistir cualquier fuerza posible sin llegar al límite elástico, o bien, en el otro extremo, debe ser tan flexible como una tela mojada con articulaciones perfectas, pero que de alguna manera pueda conservar su forma al mismo tiempo. Puesto que los daños son el resultado de deformaciones diferenciales, su control es más --- bien un problema de deformaciones que de esfuerzos.

## MAMPOSTERIAS

Uno de los sistemas de construcción más antiguos consiste en colocar piedras o tabiques unos sobre otros, ya sea en seco o con mortero, para cerrar espacios o para servir de apoyo. Muchas de esas estructuras ya han sobrevivido por miles de años. Sin embargo, esta larguísima experiencia en obras de mampostería no ha hecho desaparecer las fallas durante la construcción o después de un período de vida relativamente corto.

### A) FALLAS DE MUROS.

La capacidad de la mampostería para soportar cargas de consideración es bien conocida, pero a menudo se comete el error de pensar que el factor de seguridad no disminuye con el tiempo. El uso continuo no constituye garantía alguna de seguridad. Los viejos muros de mampostería, debilitados por la exposición a la intemperie de los morteros de cal de las juntas, fallan con regularidad, causando a veces, daños muy graves. Los muros ya viejos se van quedando sin su revestimiento o se derrumban totalmente, por los efectos acumulados de las vibraciones que el tránsito de vehículos produce sobre las superficies duras de las calles.

### B) ERRORES DE CONSTRUCCION.

Los muros de mampostería de bloque, tales como los que se utilizan en edificios escolares y construcciones industriales, rara vez llegan a ser seguros en sí, mientras no se amarren a los techos y se sujeten a los pisos. Los muros de gran longitud y altura, que exceden lo acostumbrado en la práctica normal, a veces se construyen sin un apuntalamiento adecuado, teniendo en cuenta únicamente los factores ecó

nómicos; en realidad, tales procedimientos constituyen una economía mal entendida, falsa, si se considera lo que pudiera costar una falla de esa naturaleza con todas las - complicaciones legales que de ella se derivan. Un error - muy común consiste en apoyar las plataformas o andamios - de trabajo de un solo lado de los muros que se van constru- yendo, con sujetadores que pasan de lado a lado y sin pun- tales que puedan resistir el momento de volteo. Un efecto muy semejante se presenta en el caso de viguetas flexibles apoyadas en sus bordes cuando al hacer los colados se car- gan con la revoltura húmeda del concreto. El giro de las - vigas, ahogadas por sus extremos en los muros de mamposte- ría de bloque de concreto, al deformarse bajo las cargas - ocasionan desgarramientos del muro en los apoyos que casi nunca tienen más de 4/pulgadas de longitud; en esos casos siempre se piensa que la causa de la falla fué la falta de castillos en donde apoyar las vigas.

Las fluctuaciones de temperatura, la exposición a la llu- via, la absorción de humedad y las alteraciones químicas' de las unidades y de los morteros que integran las mampos- terías así como las deformaciones elásticas y plásticas, - actuando todas en combinaciones múltiples alteran las apa- riencias, las características contra la intemperie y hasta la resistencia de la mampostería. Por lo tanto, en los de talles de diseño y los procedimientos de construcción se' deben tener en cuenta esos factores y proporcionar elemen- tos adecuados para compensar los posibles cambios que ocu- rran durante un período razonable considerando como vida - útil de las estructuras, que se proyecten algunos de estos cambios, ya que muy pocos de ellos, pueden resultar benéfi- cos.

Todas las unidades con que se integran las mamposterías, -

desde el bloque poroso de cemento y cenizas hasta el semi-impermeable tabique vitrificado, absorben el agua en varios grados; pero mientras menos porosas sean las unidades de las mamposterías, mayor será el porcentaje de humedad de la cara del muro que penetre en las juntas de mortero. La saturación acarrea el peligro de congelación y, donde las condiciones lo permiten, el de la reacción de los sulfatos. En los sitios en los que se supone que la mampostería va a permanecer húmeda por largos lapsos, los tabiques deberán poseer el menor contenido posible de sulfatos y el mortero deberá elaborarse con cemento resistente a los sulfatos. Ni el ladrillo poroso ni el bloque de concreto deben ser expuestos a la congelación.

Los recintos de mampostería con techos expuestos a altas temperaturas, al sol, o bien, recubiertos con materiales que posean elevados coeficientes de dilatación, deben diseñarse incorporándoles, ciertos detalles en los muros que permitan alguna libertad de movimientos a los techos, --- pues de lo contrario los muros de mampostería se agrietarán, se pandearán, y sus esquinas perderán su integridad. Los cambios térmicos experimentados por los materiales de mampostería no constituyen fenómenos completamente reversibles. Cuando la dilatación da lugar a la formación de pequeñas grietas o a la separación entre el tabique y el mortero, las partículas desprendidas o el mismo polvo, rellenan la abertura parcialmente y al enfriarse el muro ya no retorna a su dimensión original.

Las mamposterías se deben construir en unidades separadas con juntas de aislamiento entre una y otra para permitir la libre dilatación de cada una de ellas y evitar los agrietamientos y reforzarlas debidamente con varilla de acero.



La falta de atención a los efectos derivados de la sujeción de un elemento, es decir, a la carencia de libertad de dilatación de alguna pieza, casi siempre origina la deformación de la mampostería observada en muchas construcciones, más en las modernas que en las antiguas, las que se ejecutaban con cierta lentitud y con elementos menos resistentes. Cuando un elemento estructural se encuentra restringido en cuanto a su dilatación, las pequeñas deformaciones suficientes para ocasionar una falla no son fáciles de distinguir. Los valores promedio de dichas deformaciones son las siguientes: para el concreto, 0.10 y 0.01 % en compresión y tensión respectivamente; para la piedra, 0.25 y 0.007 % en compresión y tensión respectivamente; para el acero, 0.13% para el cobre, 0.29 % y para el aluminio, - - 0.39 %. Las fluctuaciones térmicas y las dilataciones por absorción de humedad pueden dar origen a tales deformaciones en la mampostería cuando no hay libertad de movimientos para sus distintos componentes.

La incompatibilidad de deformaciones entre las unidades de tabique de concreto que forman un muro, se hace evidente en agrietamientos a lo largo de las líneas horizontales y verticales de la cara del muro.

### C) JUNTAS Y GRIETAS

La absorción del agua siempre provoca una dilatación que desafortunadamente no desaparece del todo cuando el agua se evapora. Al mismo tiempo, todas las mamposterías aumentan de volumen con la elevación de la temperatura, y si durante el ciclo de dilatación aparecen grietas o separaciones del material, aunque fueran muy finas, ya se advierten dentro de las mismas unidades o en las superficies de contacto a lo largo de las juntas; esas grietas se lle-

nan de pequeñas partículas de polvo y una baja de la temperatura de la misma magnitud que el alza que provocó las grietas, ya no causará una reducción de volumen del mismo orden, pues las partículas intercaladas en las grietas impiden el cierre completo de las mismas. No se requiere gran número de ciclos de fluctuaciones térmicas para que aparezcan grietas observables que el resto de la cara de la mampostería; esas hendidas quedan expuestas a la acción de las heladas si el agua llega a penetrar en ellas durante el invierno.

Las llamadas juntas de dilatación o separaciones entre mamposterías de longitudes limitadas, deben incluirse invariablemente si se desea evitar los agrietamientos en los muros. El detalle de la junta, funciona correctamente y protege las mamposterías de los agrietamientos evitando la penetración de aire y de humedad dentro de la estructura, o no son de utilidad alguna. La gran mayoría de las juntas de dilatación jamás funcionan correctamente y esa es la verdadera explicación del porqué de muchas cuarteaduras de los muros en donde existen juntas de dilatación. Los selladores de juntas deben ser compatibles con los materiales cuyo contacto se van a colocar. La capacidad de adherencia de los selladores a los materiales de los muros debe ser muy eficaz para que se forme una buena junta. Las mamposterías, el concreto, el acero o las superficies de vidrio deben estar químicamente limpios y secos para poder obtener una junta de calidad aceptable.

#### D) PROTECCION CONTRA LA INTEMPERIE

En ciertas ocasiones el uso injustificado de nuevos materiales, principalmente cuando se cuenta con presupuestos muy restringidos, se traduce en fallas bastante serias. A

veces los edificios antiguos presentaban fugas, pero cuando por los años veintes los métodos de producción desplazaron, a gran velocidad a la mano de obra, la protección contra la intemperie se convirtió en una característica fundamental de las construcciones de mampostería. Los rascacielos necesitan un continuo mantenimiento de sus juntas de dilatación. La tendencia hacia el uso de unidad de mampostería de mayor densidad y de morteros de mayor resistencia, ocasiona separaciones minúsculas en todas las caras del ladrillo. La capacidad de absorción del tabique de fachada y también la del mortero respectivo, construyen una necesidad y entonces resultan ineludibles para que la superficie del muro actúe como protección en contra de la intemperie.

Las dilataciones y contracciones, los movimientos laterales, las presiones excesivas de viento, la succión; todos estos elementos ejercen su acción contra los materiales selladores. Cuando el sellador crítico está propenso al endurecimiento, a la contracción, a la pérdida de sus solventes o a la desaparición de su adherencia, no se puede obtener una junta verdaderamente eficiente. Más adelante analizaremos algunos de estos casos.

#### E) REVESTIMIENTOS DE MAMPOSTERIA

Para proteger de la intemperie los espacios cerrados, las estructuras que los circundan a menudo se recubren con muros delgados de mampostería que sirven a la vez como acabado ornamental y como defensa de los elementos estructurales en contra del fuego y de los cambios climatológicos. En los edificios de estructura metálica, los revestimientos de mampostería apoyados en sí mismos se fueron haciendo cada vez más pesados a medida que las estructuras cre-

cian hacia arriba, hasta que los muros de relleno apoyados en los pisos se convirtieron en una necesidad económica. - Las reacciones entre las estructura y los muros rígidos de mampostería, plantearon entonces nuevos problemas; cualquier cambio en la posición relativa de los elementos imponía grandes esfuerzos cortantes al elemento de mayor rigidez y, en este caso, de mayor fragilidad. Por regla general la mampostería no se instalaba sino hasta que la estructura ya estaba terminada y gran parte de la carga de la estructura ya estaba terminada y gran parte de la carga de las losas de piso en su lugar.

Por lo general, la grieta vertical de las esquinas aparece junto a una columna. La humedad que se desliza hacia abajo del muro penetra en la mampostería, se introduce en la grieta y muy pronto satura cualquier cantidad de mortero de la cubierta que pueda tener la columna metálica. La oxidación del fierro forma entonces un compuesto expansivo; el óxido de hierro, que empuja hacia el exterior el revestimiento de ladrillo, agravando mucho más las condiciones de la grieta y acelerando el ciclo de desintegración de la mampostería, principalmente en donde el recubrimiento de la columna es de sólo 4/pulgadas. El acortamiento elástico de las columnas de acero como resultado de las cargas aplicadas después de terminados los muros, puede afectar seriamente las fachadas de piedra cuando no se dispone de algún alivio de los esfuerzos en las juntas horizontales. En las fachadas de tabique instaladas sobre marcos de concreto de gran altura, debe prevenirse contra los cambios diferenciales en las dimensiones y contra los cambios térmicos de la longitud lateral. La contracción retardada y el deslizamiento de las columnas después de quedar cargadas, el acortamiento elástico derivado de las cargas añadidas después de terminada la construcción de los muros, -

particularmente en los casos en que los muros se desplantan en los pisos inferiores antes de que la estructura lleve a su último nivel, imponen grandes esfuerzos de compresión a la capa de tabique adyacente a la cara exterior de la estructura de concreto. Cuando los cabezales de la mampostería conectan el tabique de fachada con el respaldo que va apoyando directamente en la estructura de cada piso, algo de la compresión inducida se transmite a los elementos constructivos del propio piso. El valor de los esfuerzos cortantes de los cabezales es el límite del alivio de la carga, y en los casos de algunas fallas de muros, al descubrir los cabezales se encuentran éstos seccionados en los pisos inferiores. Cuando se usan amarres de metal flexible como elementos de conexión, en vez de cabezales en los muros sólidos o huecos, el mencionado alivio de esfuerzos se hace imposible y todo el efecto de la contracción de las columnas se impone en una franja de tabique de 4/pulgadas que trabaja como un miembro en compresión. Los ángulos de acero estructural, que por lo general están fijos a la estructura de los pisos en cada nivel y rígidamente adheridos al tabique por medio del mortero, no son sino materiales de relleno dentro de los muros.

El empleo del conocido tabique perforado con cara vitrificada no hace sino agravar el problema, pues es de menor resistencia y su cara es mucho más frágil. El uso de revolturas de concreto ligero, que presenta una contracción más acentuada que el concreto común, con deslizamientos mayores y módulo elástico más bajo, incrementa mucho el acortamiento elástico de las columnas imponiendo así mayores cargas al tabique. El resultado de todas estas prácticas, es un número creciente de edificios que muestran agrietamientos en las esquinas en las salientes sobre el nivel de los pisos inferiores y, sobre todo, despostillamientos del tabique de

fachada en las hiladas adyacentes a los apoyos de ángulo; en esos edificios también se advierten tabiques estrellados en las aristas de aberturas de los muros en que las concentraciones de las cargas impuestas resultan de mayor intensidad. Todos estos defectos, fácilmente observables, que producen fachadas poco atractivas, fugas en los muros, desprendimientos de tabiques hacia la calle y, algunas veces, hasta derrumbes de secciones completas de los muros, pueden ser eliminados sencillamente por medio de juntas horizontales de alivio bien calafateadas, bajos los dinteles continuos de acero en cada piso, además de las juntas verticales colocadas cerca de cada esquina o proyección del muro de fachadas.

#### F) MUROS DIVISORES

Las divisiones interiores de mamposterías están sujetas a los agrietamientos, si las unidades que las integran no son dimensionalmente estables.

#### G) PANTALLAS ORNAMENTALES

Las pantallas de mampostería esculpidas se están haciendo muy comunes como muros divisorios decorativos de los espacios destinados al público. Cuando quedan expuestos al exterior puede convertirse en elementos potencialmente peligrosos. Los efectos de la exposición a la presión de viento no se atenúan con perforaciones hechas en un sólo lado, además la succión sobre los orificios restringidos, aun puede incrementar los efectos del viento y hacerlos hasta superiores a los observados sobre las superficies lisas.

## H) YESO

La hidratación retardada en las capas de yeso blanco, a menudo acompañada de la dilatación de la masilla, es la causa más común de los estallidos y de los abolsamientos - - observados frecuentemente en los enyesados varios años después de su colocación o aplicación. El óxido de magnesio - al convertirse en hidróxido aumenta de volumen en un 117 % el tiempo para su hidratación completa depende de la temperatura a la que se combinaron el oxígeno y el magnesio. Si se prepara el óxido de magnesio por ejemplo a  $800^{\circ}\text{C}$ , éste se hidrata totalmente en tres días. Si la temperatura de la reacción sube a  $1,000^{\circ}\text{C}$ , la hidratación se efectuará - en tres meses; a  $1,200^{\circ}\text{C}$ , el tiempo de hidratación es de casi tres años. Para  $1,300^{\circ}\text{C}$ , la hidratación no se completa sino hasta los seis años.

## RESUMEN

Como resumen en lo expuesto con anterioridad se puede decir que el estado actual de conocimientos acerca del diseño de mampostería ante diversas sollicitaciones de carga ha avanzado notablemente.

Las estructuras rígidas, como las mamposterías, son más -- sensibles a los efectos producidos por un sismo, sin embargo el criterio elástico que se ha estado empleando y que - consiste en diseñar la mampostería para que resista un sismo intenso sin que esta sufra daño es irracional. La tendencia actual del diseño sísmico de mamposterías debe ser el diseñar la estructura para soportar sin sufrir daño en sismo moderado y resistir sin llegar al colapso para un movimiento intenso aprovechando así el comportamiento inelástico de la mampostería reforzada.

Es conveniente que los reglamentos de construcción contem-

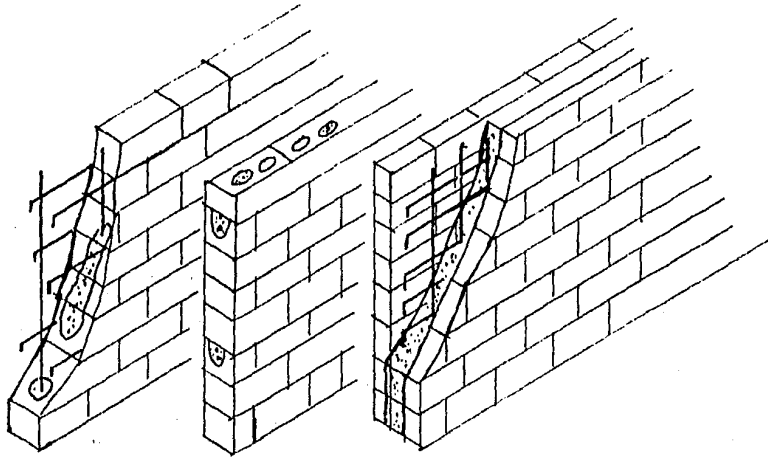
plen la idea de que la mampostería convenientemente reforzada tiene comportamiento inelástico, con la finalidad de aumentar el factor de reducción por ductilidad de este tipo de estructuras; esto porque el actual Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal es más estricto que el anterior en cuanto a los requisitos de diseño sísmico para construcciones de mampostería. Las fuerzas sísmicas de diseño se hacen depender de la ductilidad de los sistemas estructurales y, como los distintos sistemas a base de muros de mampostería tradicionales.

Lo anterior va hacer más crítica la construcción de edificios de varios niveles a base de muros de mampostería, obligando a proyectos con una mayor densidad de muros, al empleo de materiales de resistencia mayor y más controlada y a procedimientos de refuerzo que proporcionen mayor resistencia y ductilidad.

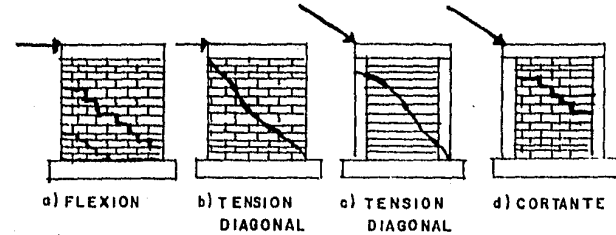
Con estas precauciones se considera que es posible seguir construyendo, en forma segura y económica, edificios de habitación a base de muros de carga de mampostería ya sea confinada o reforzada interiormente.

Un problema de la construcción en mampostería es el de la vivienda rural. La mayor parte de daños materiales y pérdidas de vidas a raíz de temblores debe al colapso de construcciones de viviendas de bajo costo. En estas construcciones se emplean materiales de baja resistencia que se deteriora rápidamente con el tiempo. Se usan además procedimientos constructivos que no permiten una buena liga de los muros entre sí y con el techo. La adopción de estas formas constructivas se debe, en la mayoría de los casos, a la falta de recursos económicos que hace que solo se puedan emplear materiales que se obtienen prácticamente sin costo en el lugar y solo permite el empleo de procedimientos que pueden ser realizados por los mismos habitantes.

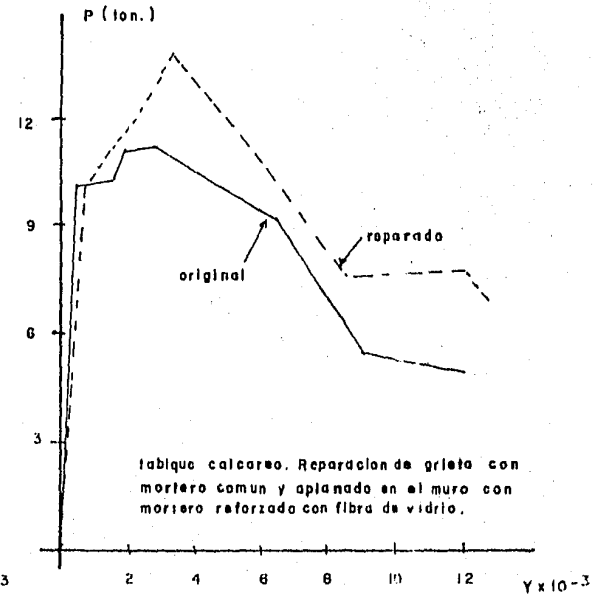
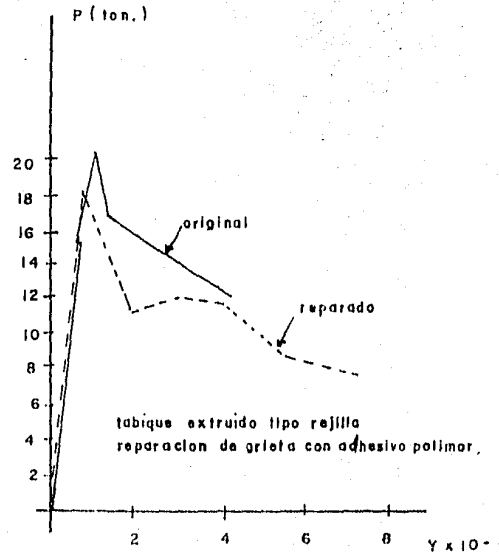
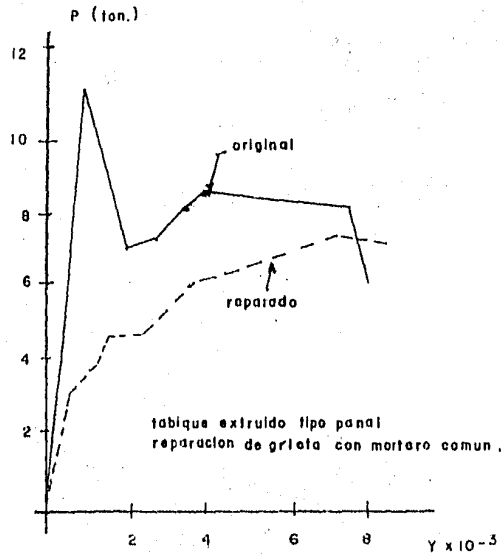




### FALLAS TÍPICAS DE MUROS



### DIFERENTES FORMAS DE COLOCAR REFUERZO INTERIOR



## CONSTRUCCION DE MADERA, VIDRIO Y ALUMINIO

Quando se proponen nuevas formas de usar materiales ya conocidos, o cuando se incorporan materiales nuevos a las estructuras tradicionales, se requiere una investigación especial para determinar la adecuación, la resistencia y la compatibilidad de las deformaciones de las piezas involucradas en el caso. La estabilidad crítica durante el ensamble de las componentes de un conjunto, es muy distinta para unidades de materiales que tienen diferentes reacciones térmicas y elásticas. La sustitución irreflexiva de un material por otro implica desde luego, un nuevo grupo de condiciones y, por ende, un diseño de seguridad dudosa.

### A) MATERIALES DE MADERA

Siempre se ha reconocido que la madera requiere cierta protección contra los cambios de humedad y, sin embargo, se siguen registrado fallas debidas a la desintegración de la madera. La pudrición seca ataca los extremos de las vigas' y de las armaduras de madera ahogados en las mamposterías, o de tal manera cubiertos por el techo que la circulación del aire se hace nula.

### B) ESTRUCTURAS DE MADERA

Las fallas durante el montaje de las estructuras de los arcos de madera, son bastante comunes. Las causas pueden ser la falta de de arriostamiento provisional adecuado, que haga las veces de la cubierta de techo, o algún golpe accidental con el equipo mismo de montaje.

## C) VIDRIO

Las dificultades derivadas del uso del vidrio en unidades de grandes dimensiones en combinación con nuevas formas de construcción, han probado que se necesita una mayor investigación respecto a la compatibilidad y conexiones entre el vidrio y los materiales estructurales. Por mucho tiempo los requisitos de los seguros de vidrio de las ventanas -- han establecido límites a las áreas de vidrio que se pueden cubrir con pinturas que absorban el color; el oscurecer algunas partes del vidrio de los escaparates de las -- tiendas expuestas al sol, siempre hace que los vidrios se estrellen. La dilatación térmica de vidrios de dimensiones considerables, requiere mejores selladores que la antigua masilla compuesta de óxido de plomo y aceite de linaza. -- Las grandes áreas de vidrio protegidas parcialmente por -- pestañas estructurales para reducir la absorción del calor en edificios con aire acondicionado, están sujetas a deformaciones que precisan la incorporación de detalles especiales para evitar los agrietamientos en la línea de sombra. Las fallas de los vidrios causadas por la presión y por la succión del viento en los edificios altos, ya se han explicado; pero lo más común es que los vidrios se rompan debido a las presiones térmicas, si a los cortes mal hechos y a los esfuerzos de flexión originados en los detalles de -- conexión con las estructuras.

## D) ALUMINIO

El aluminio presenta muchísimas ventajas en su uso, pero -- su alto coeficiente de dilatación térmica a veces neutraliza esas ventajas.

En el diseño de una estructura con muros de superficies in

clinadas y con el empleo de materiales cuya combinación - no se encuentra normalmente en superficies de esa naturaleza, es poco probable poder lograr un hermetismo completo con el diseño básico propuesto, en un diseño para el - cual no hay antecedentes, la falta de experiencia en la - construcción de un edificio semejante hace muy difícil ob tener un éxito completo sin añadir algunos trabajos enca- minados a corregir las deficiencias.

Las aleaciones de aluminio de composición química más es- table son las que se han producido, principalmente, para la industria aeronáutica; algunas de ellas compiten venta- josamente con los materiales estructurales usados normal- mente.

Con una resistencia adicional y un mejor control del - - "envejecimiento", los usos lógicos en perspectiva estaban en gran parte, los problemas de la soldadura.

Mediante el uso de capas protectoras se ha evitado la co- rrosión y las picaduras de las superficies de aluminio ex puestas a la intemperie en los marcos de ventanas y en -- los detalles ornamentales de los edificios construidos en localidades donde el aire es salitroso.

La corrosión puede presentarse en el aluminio ahogado en concreto, bajo gran variedad de condiciones y ocasionar - el agrietamiento y desintegración del concreto. Existen - tres causas principales de la corrosión del aluminio: la acción galvánica entre el aluminio y el acero de refuerzo, la presencia de corrientes eléctricas parásitas y la reac- ción del aluminio con los álcalis del concreto. De es

tas, las primeras dos (la acción galvánica y las corrientes eléctricas parásitas) son las que presentan los mayores peligros.

La corrosión galvánica del aluminio se acelera en presencia de los cloruros, que sirven como fuerte electrolito en la transferencia de corrientes entre metales distintos. La posibilidad de mantener el concreto libre de cloruros es prácticamente nula, pues éstos se pueden introducir a la mezcla en los aditivos, en los agregados, en el agua o en cualquier otro ingrediente de los que pueden formar la revoltura. El acoplamiento directo del aluminio con el hierro puede dar origen a la corrosión del aluminio, aun cuando no se encuentren presentes sales que sirvan de electrolitos. Por ahora no parece que el uso de capas o recubrimientos protectores sobre el aluminio sea una medida en la que se pueda confiar para garantizar una estructura de este metal libre de problemas. Aparentemente las corrientes eléctricas parásitas son la causa de la corrosión más rápida y severa del aluminio ahogado en concreto.

Los álcalis del concreto causan la corrosión del aluminio durante el período de curado, pero esta corrosión parece detenerse una vez que el cemento está hidratado. La corrosión alcalina puede ser mucho más severa bajo condiciones alternas de humectación y de secado. Las recomendaciones generales son en el sentido de proteger cualquier pieza de cobre, cadmio, zinc, plomo o aluminio que vaya a permanecer en contacto con el concreto. Cualquier medida para obtener concretos libres de cloruros y de humedad como garantía en contra de la corrosión, actualmente es imposible de realizar.

## ACERO ESTRUCTURAL

Ya se ha explicado las fallas en las que el acero estructural ha sido el elemento principal y su falla ha sido ocasionada por proyectos o detalles inadecuados. Ahora, describiremos las dificultades y fallas derivadas del uso del acero como elemento estructural, en la inteligencia de que muchos de estos accidentes hubieran sucedido aunque se hubieran empleado otros materiales distintos del acero.

### A) MONTAJE Y ARMAZON

El montaje de una estructura que ha sido cuidadosamente diseñada, requiere el previo conocimiento de que cada una de los componentes que lo van a integrar, por sí mismas no pueden ser tan resistentes como la estructura ya terminada y que, jamás durante las diversas etapas del montaje, el factor de seguridad puede llegar a alcanzar el valor supuesto para la obra como unidad. La falta de losas y de muros reduce notablemente la capacidad de la estructura para resistir empujes laterales y, en el caso de miembros en compresión, hasta de fuerzas verticales. Por lo general, las fallas se presentan en estructuras de un solo nivel en las cuales las columnas son de pequeñas dimensiones y muy delicadas; además, en esos casos el montaje es tan rápido que no da tiempo a la colocación de arriostamiento provisional.

Por lo general, el acero se monta usando equipo pesado -- movfl que es susceptible de ocasionar impactos peligrosos si la pluma o plumas del mismo llegan a golpear las piezas ya montadas pero todavía no completamente aseguradas. Los accidentes por colisión son muy frecuentes y algunos de ellos no tienen más consecuencias que alguna abolladura o

distorsión fácil de reparar.

#### B) ARRIOSTRAMIENTO LATERAL

La necesidad del arriostramiento lateral de todos los elementos en compresión a fin de evitar pandeos indeseables - es bien conocida desde los primeros tiempos de la ingeniería estructural.

Se deben estudiar con mucho cuidado los detalles para conservar la estabilidad durante las maniobras de montaje y - antes de construir los muros que puedan proporcionar algún amarre.

#### C) GRUAS Y TORRES

Los modernos programas de construcción, en lo que se refiere al montaje de estructuras de acero y a los colados de concreto, han ido exigiendo la fabricación de plumas más altas instaladas sobre grúas de gran movilidad, generalmente sobre ruedas que les permiten su operación traslado sobre los caminos públicos. Las fallas de las plumas de las grúas no eran cosa rara, aun en los tiempos en que ya una pluma de 60 pies era considerada como pieza correspondiente a un equipo pesado. En nuestros días, con las plumas sobrepasando muy a menudo los 300 pies de longitud, es indispensable ejecutar con mucho cuidado las maniobras de carga y descarga a fin de reducir cuanto sea posible los movimientos bruscos y chicoteos que muchas veces se traducen - en fallas repentinas.

Las grúas fijas contraventeadas con cables y montadas sobre las estructuras, requieren una operación de instalación muy cuidadosa para lograr una estabilidad aceptable.

#### D) MALACATES Y ANDAMIOS

Los sistemas modernos de transportación en sentido vertical, tanto de materiales como de obreros en las construcciones de altura más o menos importante, que han venido reemplazando las escaleras tradicionales y los cargadores de otros tiempos ( y aun de épocas relativamente recientes), exigen el uso de varios tipos de torres, malacates y andamios especiales. Los andamiajes de bambú colgados y amarrados con cuerdas de cáñamo desde muchos siglos antes, se conocen en el lejano Oriente. Los andamios de postes y tablones usados en los países europeos, a menudo llevan cuerdas de manila para amarrar las uniones y ya han sido, o están siendo reemplazados por torres metálicas tubulares con malacates y elevadores de movimiento vertical. Las rampas de madera para subir con carretillas de mano cargadas de materiales hasta los niveles superiores casi han desaparecido, pero, sin duda alguna, las futuras generaciones reinventarán esos dispositivos convirtiéndose en escaleras automáticas motorizadas, aunque a la fecha existan ya transportadores de banda y de cadena, además de bombas para morteros y concretos que elevan esos materiales en forma ininterrumpida.

Las estructuras provisionales casi nunca se diseñan con tanto cuidado como las destinadas a un uso permanente. En la construcción de un edificio de gran altura que se planea terminar en tres años por ejemplo, el malacate del elevador puede acumular muy bien tanto kilometraje como el del elevador permanente durante toda la vida útil del edificio. Se ha investigado un buen número de fallas a fin de determinar con certeza las causas que las han producido y poder establecer ciertas precauciones para no caer en insuficiencias de diseño.



Los andamios motorizados operados desde las azoteas de los modernos edificios con aire acondicionado que no tienen repisones de ventanas ni aberturas de ninguna clase, son indispensables para hacer la limpieza de los cristales de ventanas y fachadas.

#### E) TANQUES Y TUBERIAS

Los esfuerzos de trabajo para el acero utilizado en la construcción de tanques, y en la fabricación de tubos parece que se pueden determinar fácilmente, dada la certeza del conocimiento de las cargas consideradas en cada caso particular, pero, aún así, se han registrado incidentes de fallas bastante graves.

#### F) SOLDADURA

Las técnicas de la soldadura se han desarrollado increíblemente desde los tiempos de los herreros y sus forjas de fuelles; pero, como todas, las nuevas técnicas han planteado numerosos problemas nuevos, de los cuales, los de la soldadura con frecuencia se calculan mal y de ello han resultado accidentes trágicos. Las estructuras típicas de los puentes requieren una atención muy especial debido, principalmente, a las grandes dimensiones de las placas y de los perfiles utilizados en ellas.

La soldadura de campo requiere ciertas medidas de inspección para probar la eficiencia de las conexiones. Existen varios procedimientos para llevar a cabo pruebas no destructivas que complementen la inspección visual y las pruebas por medio de ácidos. Esta última en forma de examen de las soldaduras se supone que debe descubrir de inmediato las inclusiones de escoria y de metal de soldadura depositado no homogéneamente.

Las chimeneas metálicas de gran altura también presentan problemas muy particulares; si son soldadas están propensas a derrumbarse cuando la temperatura del ambiente baja demasiado, debido a la condición quebradiza que se desarrolla en el acero. También están propensas al derrumbe cuando vibran a causa de una pequeña velocidad del viento. Estos casos son menos probables si las chimeneas son remachadas. Las cabezas de los remaches y los empalmes de las placas destruyen la formación incipiente de los remolinos y la unión remachada, por su flexibilidad inherente, absorbe mejor la energía, oponiéndose así a la acumulación progresiva de las vibraciones.

#### G) CABLES Y ALAMBRE

Las fallas de los cables de los malacates prácticamente se han eliminado de la industria de la construcción, especialmente en los elevadores, mediante la inspección periódica estricta y el reemplazo de los alambres que los forman.

En los cables metálicos de suspensión se ha utilizado con mucho éxito un alambre de tipo similar desde mucho tiempo antes de la aceptación popular del concreto preesforzado.

#### H) CORROSION

El acero expuesto a la humedad y al oxígeno se oxida con rapidez y como resultado de ello, la sección de una pieza cualquiera se ve continuamente disminuida. El acero dentro de las mamposterías se debe proteger contra el ataque de la humedad ya que la formación de óxido de hierro con el consiguiente aumento de volumen empujará sin remedio algunas porciones de los materiales a su alrededor y agrietará la cara del muro. El acero enterrado en el suelo también -

está sujeto al ataque de la corrosión dependiendo de las -  
condiciones del suelo. Se ha registrado casos en el que --  
sistemas enteros de tuberías han quedado destruidos en ma-  
nos de doce meses.

## CONCRETO

El concreto como material estructural, difiere de todos -- los demás, porque no llega fabricado al sitio de la obra -- y por ser tan propenso al comportamiento incorrecto si se descuida, o no se efectuá adecuadamente su control.

### A) MEZCLAS DE CONCRETO

Ningún colapso o falla del concreto puede atribuirse única mente a la mezcla incorrecta del mismo o a que no se haya cumplido con las proporciones determinadas por un procedi- miento de diseño de mezcla controlada. Prácticamente todo' reporte que se ha preparado sobre fallas, indica, sin em-- bargo que los cilindros o corazones de concreto fraguado -- estaban bajos, en cuanto a resistencia de diseño.

El uso de agregados incorrectos en una mezcla de concreto puede ocasionar muchos problemas de apariencia y aun de -- utilización de la construcción. Los agregados que se usan pa ra una mezcla de concreto deben ser compatibles con los de más ingredientes.

Para evitar la contracción normal de las masas grandes de concreto, en especial cuando se coloca por tubería en for- mas llenas de agua, se ha desarrollado el procedimiento de colocar primero el agregado y luego inyectar el mortero, -- el cual desplaza al agua.

La adquisición de resistencia de una mezcla de concreto de pende de las temperaturas de la misma y del aire exterior, aunque tales factores no afectan mucho a los últimos valo- res de la resistencia. En climas extremadamente calientes, y en especial en los de baja humedad, como los que existen en las áreas desérticas de California, sólo se puede obte- ner el control apropiado de la mezcla de concreto durante'

la noche.

## B) REACCION SUPERFICIAL

El endurecimiento del cemento en el concreto o en un mortero, no es una reacción química real, y la cristalización - resultante del cemento amorfo está sujeta a alteración - - cuando está en contacto con muchos materiales corrosivos. La falta de consideración a tal posibilidad ha conducido - a muchos casos de desintegración superficial del concreto y a algunos de desintegración a profundidad, en los que se han obtenido superficies verdaderamente defectuosas y costosos trabajos de corrección.

En muchas estructuras que dan su frente al agua se encuentra la acción química normal que tiene sobre el concreto - la salpicadura de sales, la abrasión por hielo, las mareas y la intemperie. La protección contra el envejecimiento natural, las influencias del agua salada ayudadas por la - - acción química de las mareas y el viento, ha traído como - resultado el reconocimiento de que se necesitan concretos - de densidad especial y de que es económicamente aconseja--ble hacer un tratamiento superficial hermético a la hume--dad.

El concreto que va a trabajar expuesto a las altas humedades de ciertos usos especiales, debe impermeabilizarse con películas bituminosas o plásticas, y como segunda precau--ción, el recubrimiento de concreto que haya sobre el re--fuerzo debe ser por lo menos de dos pulgadas.

La aplicación de yeso o pintura sobre las superficies de - concreto para acabado interior ha sido un concepto que ofre--ce dificultades. Durante muchos años después que se convir--tió en práctica aceptable la aplicación directa del acaba--do de yeso sobre los techos de concreto, se vendió un pro-

ducto de yeso patentado, con garantía de adhesión. Resultaron tantas reclamaciones por falta de cumplimiento de cualidades que tuvo que retirarse el producto del mercado. Entonces se desarrollaron recubrimientos plásticos aplicados por rociado, para servir como agente adhesivo entre el concreto y la pasta blanca de yeso. Aunque esta aplicación tuvo éxito en muchos casos, dependiendo su permanencia de un suministro continuo de vapor de humificación para mantener la gelatina coloidal, ha habido gran número de fallas debidas aparentemente a la deshidratación del concreto y de la pasta de yeso.

La acción del ácido láctico sobre el cemento es tan rápida y completa, que el uso de pisos de concreto en las plantas de proceso en las que puede formarse ácido láctico es totalmente no aconsejable. Tales plantas comprenden las pasteurizadoras de leche, las plantas manufactureras de queso las cerveceras y los abastos. El azúcar y las melazas mezcladas en concreto humedo impiden el fraguado del cemento, y se han usado como medio para impedir el endurecimiento de un concreto que tenga que demolerse, como en ciertos incidentes de falla de cimbra.

La acción de la polilla perforadora sobre la madera es bien conocida. También hay algunas bacterias, moluscos y seres similares de vida animal que pueden deteriorar al concreto, cuya procedencia son los desechos químicos y que reaccionan con el cemento o sus agregados, y a veces realizan el deterioro por erosión física para hacer resguardos' abajo de la superficie.

### C) REACCION INTERNA

Los cambios internos de naturaleza química que ocurren dentro del concreto y que dan origen a grietas y fracturas --

acompañadas a menudo por la desintegración de las superficies, pueden ocurrir bajo ciertas combinaciones de cemento y agregados. Entre los cementos de alto contenido de álcalis y los agregados que contienen sílice soluble, ocurre una acción alcalina que da por resultado la formación de una gelatina expansiva formada por hidróxido alcalino con agua y sílice. El uso del azúcar para restringir el fraguado del cemento es muy conocido. A menudo puede modificarse la química del cemento o puede usarse un aditivo para disfrazar la relación reactiva entre el cemento y el agregado. Cuando se vacía concreto contra una superficie de reciente exposición, se encorvan las paredes y los pisos y el ácido reduce al concreto a una masa fragmentada de agregados. Los cementos resistentes a los sulfatos son atacados en menor grado, y se logra impedir la acción por medio de una película impermeable que cubra la roca. Sin embargo, se evita el contacto con la roca siempre que es posible.

#### D) CONTRACCION, DILATACION Y CAMBIO PLASTICO

La contracción diferencial entre miembros de concreto armado gruesos y delgados, en contacto íntimo, puede producir una tensión excéntrica sobre los miembros, y es la razón común de que se formen grietas en las losas coladas en forma integral con las vigas maestras. La contracción al secado se define como la reducción de volumen que resulta de una pérdida de agua que sufre el concreto después de endurecerse. Ocurre algo de esta pérdida en una etapa temprana, con el desarrollo consecuente de agrietamiento por contracción plástica, formándose debilidades internas que más adelante se transforman en grietas abiertas. Cuando se restringen los cambios de volumen, se producen esfuerzos

cuando ocurren contracciones más adelante, y dichos esfuerzos pueden ocasionar deformaciones y fallas. Una revisión completa de los informes existentes indica que existe una falta de conocimientos sobre las causas y los remedios de este importante fenómeno.

La transmisión de la carga cuando las columnas de los marcos de varios pisos son afectadas por la contracción retardada, por lo general después de que se ha terminado el edificio y se encuentra en uso, ha agrietado y desintegrado - cubiertas rígidas de tabique y de piedra. Esto se ha encontrado con mayor frecuencia donde se usó mezcla de concreto ligero para las columnas, en combinación con piezas de tabique vidriado colocadas en juntas rígidas de mortero.

Tanto para las unidades compuestas de miembros precolados como para las de marcos rígidos colados en su lugar, se tienen que considerar los efectos de la contracción retardada. Ocurren cosas imprevistas cuando no se ejecuta un diseño hasta su terminación mediando un análisis consistente de sus detalles, o cuando los procedimientos de construcción, sea a sabiendas e ignorándolo, introducen factores que no se consideraron en el diseño. Aparentemente sin causa, aparecen grietas, fallas y desintegración en las uniones, así como deformaciones. Igual que un ingeniero experimentado en cimentaciones puede seguir el esquema de agrietamiento de una estructura para localizar la deficiencia - del soporte de una cimentación, un seguimiento tridimensional cuidadoso de las alteraciones estructurales indica una especie de embudo que circunda al punto de dificultad. El eje del embudo apunta a la deficiencia que originó el problema.

La magnitud de la contracción a largo plazo de una estructura real de concreto depende de los variados factores que introducen el tipo de mezcla, las temperaturas durante el



colado y las condiciones climatológicas.

Todos estos cambios de longitud ocasionan grietas en el -- concreto. Por lo general se reconocen tres clases de grietas en el concreto.

- a) Las que resultan de la deformación elástica, que comúnmente son del ancho de un cabello, y que no se consideran perjudiciales para la estabilidad.
- b) Las grietas de contracción debidas al secado de la pasta.
- c) Las grietas de corrosión ocasionadas por el cambio de volumen de los agregados o del refuerzo. Los dos últimos tipos son más graves que el primero.

A menudo se manifiesta la contracción de las losas de piso de concreto como una grieta corta diagonal entre las esquinas del edificio, bastante próxima a veces a la columna, y aun partiendo de la esquina interior de la columna situada arriba del nivel del piso.

La dilatación del concreto que ocurre con el tiempo por la acumulación de crecimientos ocasionados por los cambios sucesivos de temperatura, y por las reacciones internas de los agregados, puede dar origen a cambios de forma y agrietamientos mayores.

#### E) DESINTEGRACION SUPERFICIAL

Algo que con frecuencia se observa como desperfecto en el concreto, es la desintegración superficial de los pavimentos y aceras. Ya sea por el resultado de la acción del tráfico sobre un concreto de acabado superficial deficiente, o ayudada por los aditivos químicos y abrasivos que se usan para el control de las cubiertas de nieve y de hielo, subsiste el hecho de que existen muchas superficies de con

creto en buen estado y que tienen muchos años de vida, la cual indica que hay algún detalle de combinación o de construcción que se ha introducido incorrectamente.

Es así como llegamos a las siguientes conclusiones:

1. El agua es la causa de la vida y la muerte del concreto.
2. La reacción del cemento con el agua da resistencia al -- primero.
3. La eliminación del agua (secado) hace que el concreto se contraiga y se agriete.
3. La restauración del agua hace que el concreto se abulte.
4. La dilatación y la contracción alternadas, debidas a cam bios de humedad, es la principal causa de la destrucción de las estructuras de concreto.
5. Si el concreto ha de ser permanente, su contenido de humedad debe permanecer relativamente constante.

Muchos edificios de concreto armado han requerido muy poco mantenimiento durante una vida de varias décadas (algunos - por cierto, durante más de 50 años), pero otros, diseñados y construidos por las mismas personas, y sometidos a condiciones similares de exposición en el mismo período han alcanzado un estado en el que, o se han de emprender reparaciones extensas y costosas, o el edificio se ha tenido que eliminar por considerarse una estructura peligrosa, ya que, aunque es posible que su colapso estructural sea inminente, el desprendimiento de piezas lo suficientemente grandes para dañar a cualquiera sobre el que pudieran caer, se haya - convertido en un riesgo creciente.

Todos los defectos comunes que tienden a acortar la vida de un edificio de concreto armado se desprenden de una causa - simple. El enemigo de la durabilidad casi siempre es el -- agua, el elemento vulnerable es el refuerzo de acero, y se tiene por cierto un gran problema, si falla el concreto en'

mantener separados a ambos. Los detalles de diseño deben proveer esa protección y en la construcción no debe reducirse el recubrimiento ni la impermeabilidad del concreto.

#### F) EFECTO DEL FUEGO

El concreto se clasifica como una cubierta a prueba de fuego, considerándose 2 pulgadas como suficientes para una protección de 4 horas contra el calor del fuego normal. Sin embargo, se ha sabido de intensos incendios que han ocasionada serios daños a las estructuras de concreto.

#### G) OXIDACION DEL ACERO AHOGADO EN CONCRETO

Existen algunos errores comunes que aumentan el efecto, tanto en alcance como en rapidez de acción. La formación de óxido es un cambio químico del hierro que requiere la presencia de agua y oxígeno. Tal cambio lo aceleran ciertos fenómenos eléctricos como las corrientes errantes y los potenciales eléctricos generados internamente.

El concreto no debe ser demasiado pobre, pero debe contener el porcentaje óptimo de cemento que lo haga impermeable al aire. En consecuencia. Se aumenta la proporción de calcio, que previene la oxidación, y también el concreto es más impermeable al ácido carbónico, el cual neutraliza la cal. En el concreto no debe haber sustancia tales como cenizas de locomotora, que a menudo contienen azufre, elemento que ejerce acción química sobre el hierro. El recubrimiento del acero debe ser del espesor suficiente para cubrirlo adecuadamente, y no debe agrietarse por presión ni por contracción.

Las plantas de fuerza y las instalaciones que requieren conectar a tierra todo el refuerzo, producen una gigantesca pila galvánica que agrava la corrosión de las estructuras subterráneas.

## ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Apesar de la intensa investigación que se ha hecho en el campo de las estructuras de concreto, gran parte de la sucesión de nuevos desarrollos debe depender en forma semejante del comportamiento real, y los procedimientos de tanteo han tenido que tomar, naturalmente, su parte de las fallas. Si las fallas ocurren por primera vez, se pueden perdonar, aunque alguien haya salido herido en el incidente. Pero cometer dos veces la misma equivocación es imperdonable, su causa es la falta de comunicación.

### A) DISEÑO Y DETALLE

La deficiencia en el diseño básico, como por ejemplo el refuerzo insuficiente en los puntos de momento máximo, o las dimensiones de la sección del concreto para proveer resistencias a la compresión y al esfuerzo cortante bajo las cargas normales, son causas de falla extremadamente raras. Por simplicidad para el detalle y para la instalación de varillas, a menudo conviene usar el mismo diámetro y la misma separación de varillas en una losa de techo que los que se aplican en el piso tipo de un edificio de varios pisos.

Con la mayor experiencia que se logra en todo tipo de diseños de concreto armado, que se vuelve común en todos los controles por los que pasa un trabajo (diseño, estimación, detallado, supervisión de campo y construcción), es remota la posibilidad de que llegue hasta la etapa de construcción un error fuerte de diseño. Sin embargo, algunos ejemplos que se han citado bajo otros encabezados, indican que la posibilidad sigue existiendo. Los diseños en concreto necesitan más que la sola verificación numérica; el examen

rápido de los dibujos de diseño, realizado por un ingeniero o constructor de experiencia, siempre saca a la luz los errores serios de diseño.

Hay una tendencia gradual, aunque persistente, a enseñar en los dibujos de diseño las condiciones de refuerzo máximo y a dejar a los detalladores tomar la decisión de la longitud de las varillas, el desarrollo de los traslapes y empalmes y de otras decisiones que deben formar parte del diseño. Los errores que simplemente se deslizan, son muy difíciles de detectar en la verificación de los dibujos de taller.

Los detalles de las juntas de dilatación necesitan de atención cuidadosa. Muy pocas juntas de dilatación que trabajan correctamente y que no exhiben desperfectos. Se ha comprobado que no tienen éxito los intentos que se han hecho para proveer juntas de dilatación deslizantes, vaciando las vigas de concreto sobre columnas de superficie lisa, o aun con una capa separadora de papel.

## B) ESFUERZOS CORTANTE Y DE TORSION

El tipo de falla más serio que ocurre a las estructuras de concreto es la debida a deficiencia de resistencia al esfuerzo cortante, por que se presenta sin aviso previo. Las fallas por cortante van precedidas, si acaso, por pequeñas deformaciones, y a veces por cierto agrietamiento. Es probable que se haya argumentado más acerca de la resistencia al esfuerzo cortante, y quizá haya mayor variación en los códigos de los distintos países sobre el diseño del esfuerzo cortante, que sobre cualquier otro aspecto del diseño del concreto armado. La incógnita básica es si actúa el refuerzo y el grado al que lo hace, en forma conjunta y simultánea con el concreto, para resistir el esfuerzo --

cortante; y la forma en que los esfuerzos de torsión inducidos por las cargas asimétricas, influyen en el esfuerzo máximo que ha de resistirse. Excepto que el contratista no haya seguido los planes y especificaciones al pie de la letra, todas las fallas por esfuerzo cortante encuentran su origen en la deficiencia de conocimientos disponibles sobre lo que requiere resistencia, o en la aplicación incorrecta de los datos disponibles al problema.

Algunos ingenieros sólo asignan a los estribos el exceso de esfuerzo cortante, o con mayor exactitud el esfuerzo de tensión, que puede aceptar el concreto. Sin embargo, la realidad es que los estribos sólo entran en acción hasta después de haberse agrietado el concreto.

Por consiguiente, los estribos deben poder sustituir completamente al concreto, resistiendo por tensión, todos los esfuerzos de tensión que se ejerzan sobre el área total abarcada por una grieta dada.

Igual que requiere cierto tiempo el hacer buen pan, también requiere cierto tiempo el hacer buen concreto; un trabajo que se hace de prisa es vulnerable.

Las juntas de dilatación sólo cumplen su cometido cuando trabajan y el tener congelada una junta es peor que no tenerla.

Se supone que hay restricción lateral de todos los miembros en nuestros diseños básicos. Se debe prever tal restricción, particularmente en las caras de compresión de las estructuras continuas, y esto se presente en la parte inferior de las vigas maestras donde se asientan sobre una columna.

Si la deformación por torsión puede absorber una dilatación con trabajo interno que la dilatación axial de la viga de carga, más la flexión de las columnas de apoyo, en

tonces se deformarán las vigas de carga lateralmente siguiendo una curva senoidal y girarán las columnas. Si no se soporta o se refuerza la viga de carga se tienen que abrir grietas para compensar tales deformaciones torsionales.

En el diseño debe cuidarse tanto de las cargas externas como de las internas. Ya sea que tal cambio se debe a la fragilidad de la madera secada, a la abertura de microgrietas en los metales por vibración o por cambios de temperatura, o a contracción y flujo plástico del concreto, los materiales que cambian con el tiempo introducen condiciones de esfuerzo interno que tienen que considerarse en el proyecto. El no considerar tales cambios puede traducirse en fallas, ya sea que lleguen al derrumbe o sólo a señales de alteración.

#### C) FALLA POR COMPRESION

El factor más fuerte del concreto es su resistencia a la compresión, y si la mezcla puede aportar la resistencia de seada, no hay razón para sospechar que las columnas puedan ser causantes de falla. En realidad se han atribuido muy pocas fallas a las columnas, aunque la deformación ocasionada por cargas excéntricas, y por cambios vertical de longitud por temperatura, contracción y deslizamiento está relacionada en gran medida con la acción de las columnas. Una falla de compresión común es la que se presenta durante el izado de elementos precolados largos con conexiones a dos cables inclinados tendidos desde una sola pluma. Las componentes horizontales de las fuerzas de elevación comprimen al miembro colado, ocasionando su falla por pandeo, como ya ha ocurrido.

#### D) DIFICULTADES DE MONTAJE

Excepto que falle el apoyo de los andamios en los diseños - de colado en el lugar, o que haya un punto débil en el procedimiento de montaje, raras veces fallan los puentes de -- concreto.

El levantamiento de una unidad estructural prefabricada, -- trátase de un pilote precolado, del claro suspendido de un' puente en voladizo, una viga presforzada o simplemente re-- forzada precolada, o una sección de losa, sólo puede efec-- tuarse en condiciones de seguridad si los esfuerzos de mon-- taje no sobrepasan a los puntos de fluencia, y si el equipo de elevación proporciona soporte suficiente, continuo y uni-- forme. Las fallas que ocurren en este tipo de maniobras ca-- si siempre se originan por haber algo inadecuado en los pe-- queños detalles o una acción no uniforme en el procedimien-- to de levantamiento. Las fuerzas horizontales pequeñas pue-- den alterar fácilmente el equilibrio neutro que existe du-- rante el levantamiento de una gran masa sin restricciones - laterales.

#### E) CONGELACION

El concreto puede instalarse en condiciones de seguridad a temperaturas de congelación si se toman las precauciones ne cesarias y se prepara y dispone del equipo de protección an tes de iniciar el trabajo. Lo atestiguan el gran número de obras de concreto construidas en invierno en Canadá, en don de los contratistas han aprendido a vivir con el tiempo de frío, y lo protegen contra el mismo, en vez de ponerse a es perar que llegue la descongelación, la cual nunca llega - - cuando se necesita. Ha habido algunas fallas serias del con creto ocasionadas enteramente por la falta de métodos y pro tección adecuados.



Un daño común por congelación que se tienen en la práctica, es el que resulta del método de colocar bloques de madera sentados en lodo, sobre terreno congelado, porque éste se ablanda por el escurrimiento y por los calentadores de protección contra la congelación, ocasionando bolsas indeseables en la estructura soportada.

La formación de cristales de hielo crecientes, que ejerce presión con intensidad de varias toneladas por pie cuadrado, es una causa de muchas otras dificultades. Las grietas en continua expansión que se forman en los miembros sumergidos en agua a temperaturas inferiores a la de congelación dan origen a agrietamiento superficial y desintegración de caminos y de muros en cualquier material que se emplee. La penetración de la congelación en el subsuelo en el que se colocan cimentaciones de concreto ocasiona la combadura de cimentaciones cuando hay humedad disponible para formar cristales de hielo. Las descongelaciones de la primavera posteriormente ocasionan el asentamiento de la estructura. Lo aconsejable de proveer una superficie impermeable en el concreto con áreas expuestas al agua, se ve a menudo en presas y puentes, así como en edificios.

Después de que se ha congelado el concreto, no hay métodos de protección que resuelvan el problema (no debe permitirse que el concreto se descongele parcialmente y se vuelva a congelar). Todo programa de colado de concreto que haya congelación, debe ir precedido por un conjunto completo de barreras rompeviento, dispositivos de calefacción y distribución que se necesitan para proteger la obra en el día más frío y para el área más grande que se espere de obra de colado. Sólo estos preparativos pueden asegurar una protección efectiva contra daños que los cambios de temperatura ocasionan a la obra.

## F) CAMBIOS DE TEMPERATURA

Todas las estructuras cambian de dimensiones al cambiar la temperatura. En los edificios, el mejor control de la temperatura interior aumenta el intervalo de las diferencias en la azotea. El cambio de dimensiones de una losa de azotea con sujección rígida a los muros puede ocasionar agrietamientos en los muros, localizados por lo general a la altura de la cabecera de las ventanas del piso superior, ya que se reduce súbitamente la sección horizontal resistente del muro a dicho nivel. La dilatación usual de la azotea se manifiesta en muchos edificios por tal agrietamiento, acompañado de goteras o transminaciones, manchado de las paredes y pérdidas de calor en el piso superior. Los proyectos más antiguos indicaban una hilada de ladrillos salientes a este nivel, para dar sombra a la grieta y proteger el interior contra la infiltración del agua.

En el campo de la construcción hay pruebas ocasionales del costoso resultado de pasar por alto los efectos de la temperatura. Hay techos que se dilatan y empujan a los muros exteriores. Hay fachadas que se agrietan porque tienen restringido su movimiento, y que tampoco se diseñaron para resistir las deformaciones térmicas, una mayor atención a efectos térmicos podría eliminar tales dificultades. Los efectos de la dilatación por temperatura por lo general se presentan a fines del verano, cuando la absorción neta de calor, en la ganancia diurna menos la pérdida nocturna, alcanza un máximo acumulado.

Las temperaturas normales permiten que las estructuras grandes absorban suficiente calor para que se desintegren las superficies, se encorven las áreas planas y aun, que ocurran defectos estructurales.

Los estadios deportivos son un buen ejemplo de la necesidad de proveer espacio libre para la dilatación. Esto es evidente en todos los estadios, sean de estructura de acero o de concreto.

El coeficiente medio de dilatación del concreto es 0.000006 por grado F de cambio. Con un módulo elástico de 5,000,000-psi (más bajo para los concretos más débiles), cada grado de cambio induce un esfuerzo de 30 psi. Por lo general, el concreto puede tomar tal incremento en su esfuerzo de compresión de toda facilidad, pero si no tiene el refuerzo necesario para resistir a la contracción, bastará una pequeña cantidad de enfriamiento para que se produzcan grietas cuando se sobrepasa la baja resistencia del concreto a la tensión. El requerimiento usual de 0.25% del área de sección transversal en la dirección horizontal, y de 0.15% en la dirección vertical, en la cual se pide menor cantidad por la compresión procedente del peso mismo del concreto, extiende simplemente el intervalo de temperatura que no produce agrietamiento. La experiencia en las zonas templadas indica que se requiere el 0.65% para resistir un descenso de 100°F de temperatura, y por tanto no es sorprendente encontrar tan pocas exposiciones de concreto sin agrietar.

#### G) DEFORMACION Y AGRIETAMIENTO.

Las estructuras, como las losas, transmiten sus cargas a los soportes de la manera más fácil, que puede no ser la forma que se supuso en el diseño. Cuando la estructura reticulada forma articulaciones y trata de conformarse al patrón supuesto, resultan grietas. Se supone que las cargas de las losas se transmiten a las columnas, parcialmente por torsión. Entonces aparecen grietas diagonales de torsión en la cara de la trabe, particularmente cuando se emplea por

empuje al revestimiento de mampostería que sirva de vista, y forma grietas horizontales en el junteado de mortero, -- con la consecuente infiltración de la lluvia al edificio.' Las trabes deben diseñarse para resistir tales deformaciones torsionales.

Las grietas pueden clasificarse en forma general en las -- que ocurren antes y las que ocurren después del endureci-- miento del concreto. El período previo al endurecimiento -- se considera que se extiende desde el momento de vaciado o colocación del concreto hasta el momento en el que alcanza la suficiente resistencia para resistir que se quite la -- cimbra, en la práctica de 2 a 8 horas después del vaciado bajo condiciones normales.

El movimiento del subsuelo debido a cambios de humedad y el movimiento de la cimbra, debido a diseño inadecuado o a -- construcción inadecuada, son dos causas frecuentes de agrie-- tamiento en el período de preendurecimiento, las cuales -- pueden prevenirse mediante la compactación y el control -- adecuados del suelo de apoyo y mediante la atención cuidadosa de la preparación de la cimbra.

También se tienen las grietas que ocurren muy poco después de la colocación y el acabado, a veces en cuestión de minutos, y aun bajo una película de agua. Estas se atribuyen a la contracción plástica ocasionada por la expulsión del -- agua libre procedente de la gelatina silíceo de formación' fresca o por un falso fraguado. En este caso, el remedio -- parece ser dar un acabado retardado, presionando el concreto plástico para cerrar las grietas. Se ha encontrado que cuando se hace tal cosa las grietas no reaparecen.

## CONCRETO PRESFORZADO

### A) MEZCLA DE CONCRETO

El trabajo para presforzado requiere de concreto de resistencias altas y uniformes. Los agregados ligeros ahorran -- una parte tan pequeña del peso real, que la mayor incertidumbre de obtener la resistencia correcta debería prohibir su empleo en el trabajo presforzado.

### B) APOYOS

La máxima concentración de esfuerzos se presenta bajo la placa de apoyo de un anclaje postensado. En este caso se requiere de la resistencia máxima del concreto, con algo de refuerzo en forma de aros o de espirales para resistencia máxima del concreto, a la expansión lateral bajo el esfuerzo elevado. La combinación de la placa de apoyo con lo que a menudo lleve, anclas, coraza de varilla o de cable, estribos y aros, nos conduce por cierto a un concreto denso. Por lo general no hay espacio para que penetre el vibrador, y la densificación de la revoltura de concreto depende del picado manual a varilla y del apispnado, operaciones que deben efecturarse con la myor efectividad posible. A veces el resultado no es suficiente.

### C) MONTAJE

Han ocurrido fallas con el montaje, y se puede proteger al ejecutor contra las mismas, teniendo cuidados adecuados para el levantamiento, el transporte, el amarre por retenedas y el esforzado hasta que todo el amarre permanente es-

té en su lugar y conectado. La falta de tales cuidados pue  
de atrasar seriamente el trabajo a un costo considerable y  
borrar todas las economías de un diseño presforzado.

## CIMBRAS Y ESTRUCTURAS TEMPORALES

### A) FALLAS DE LAS CIMBRAS

Un sistema de cimbra para la recepción de concreto húmedo arriba del piso construido con anterioridad, no es una estructura de lo más estable, el peso está casi enteramente en la parte superior, y está soportado por un conjunto de postes que no están unidos rígidamente a la cimbra que descansa sobre su parte superior ni el piso sobre el que se apoyan. Se agrega considerable resistencia contra movimientos laterales si las columnas se cuelan, por lo menos, un día antes que el piso. Puede verse incrementado un poco el costo unitario de la mano de obra de colado del concreto, pero el pequeño gasto adicional representa un seguro barato. En realidad, en las construcciones de varios pisos, de diseño de losa plana, muchos contratistas están convencidos de que si las columnas se cuelan tan pronto como se instala la cubierta y antes de que se coloque el refuerzo de la losa, se logra un ahorro en la reducción de la mano de obra del colado de las columnas, al no tener que hacerlo a través del enjambre de varillas que se concentra en las columnas, y en el control más fácil del "sangrado" que reduce el tiempo y los costos del acabado. Al mismo tiempo se permite que las columnas desarrollen su contracción, procedimiento que generalmente se especifica, pero a menudo no se obedece.

Todas las estructuras pasan por una serie de etapas críticas durante el ensamble de sus componentes. Sólo después de superar tales crisis se logra, en el trabajo terminado, el comportamiento estable y satisfactorio de un proyecto. En cada etapa puede intervenir un "detalle de operación",

que requiera de control o vigilancia especial por cualquier señal de posible mal comportamiento. En un programa de -- construcción bien planeado, a cada fase crítica se provee de una resistencia de respaldo, que entra en juego automáticamente si falla el ensamble primario, similar a los procedimientos de falla en la seguridad, características del diseño de los vehículos espaciales. Los ejemplos de "detalles de operación" son comunes en trabajos tales como la excavación de túneles, el armado de puentes, el recimentado y la obra falsa para el concreto.



## CONCLUSIONES

Particularmente al proyectar, los ingenieros se alejan con cierta frecuencia de la realidad, con la que tienen poco contacto, y toman decisiones que repercuten en las obras de manera grave con relación a algunos aspectos sociales y económicos del país.

En el ejercicio cotidiano de la ingeniería es muy fácil perder de vista los verdaderos objetivos de las obras en cuyo proyecto o construcción se trabaja; las distracciones que produce la técnica oscurecen el verdadero fin de esas obras, que no es sino satisfacer necesidades del hombre: como abrigo para sus actividades, medios de transporte para sus productos, ideas o él mismo, energéticos para variados propósitos, agua para regar sus cultivos o para su propio consumo, entre otras, y se llega a creer que el trabajo del ingeniero es hacer obras bien hechas, lo cual no deja de ser importante, o lo que es peor que su trabajo es calcularlas lo mejor posible.

Su contribución a la sociedad se limita porque, haciéndolos conocer sólo lo ese aspecto, no puede crearse una conciencia clara de que en México, sobre todo hoy en día obtener un título profesional es aceptar enormes responsabilidades y no significa hacerse merecedor de privilegios especiales. No puede crearse una aceptación clara y definida de la idea de que cada uno de los distintos grupos humanos que forman nuestra nación tienen una tarea determinada que realizar en beneficio común, con espíritu de solidaridad social, y no solo en beneficio propio.

## REFERENCIAS

- 1.- Facultad de Ingeniería. UNAM. Apuntes de mecánica de materiales.
- 2.- Gonzalez, Robles, Casillas y Diaz de Cossio. Aspectos fundamentales del concreto reforzado, Editorial Limusa.
- 3.- Bresler Lin y Scalzi. Diseño de estructuras de acero Editorial Limusa.
- 4.- Facultad de Ingeniería. UNAM. Notas sobre revisión y comportamiento de estructuras de mampostería.
- 5.- Federico Alcaraz Lozano, Facultad de Ingeniería UNAM. Apuntes de diseño de cimbras de madera.
- 6.- Ing. Cutberto Diaz Gomez, Sobre la enseñanza y el ejercicio de la ingeniería. Revista ingeniería Civil Agosto de 1974.
- 7.- Felix Pomeranz, la clave del control de proyectos de construcción. Revista desarrollo nacional, marzo de 1982.
- 8.- Fire Protection Planning Report No. 2, de la Portland cement Association, EUA. Seguridad contra incendios en edificios altos de concreto. revista IMCYC noviembre de 1980.